

AKTİF KROMOSFERLİ ÇİFT SİSTEMLERİN İZOKRON YAŞLARI

Nurten FİLİZ AK¹, Zeki EKER¹, Osman DEMİRCAN¹

Özet

Oluşumları aynı zaman ve aynı bölgede olan yıldızların, örneğin açık veya küresel küme yıldızları, yaşlarını belirlemede kullanılan izokronlar ile yaş belirleme tekniği, Aktif Kromosferli Çift (CAB, Chromospherically Active Binaries) yıldızlara uygulanmıştır. Tekniği uygulamak için seçilen 200 yıldızın fiziksel parametreleri (sıcaklık, yarıçap, kütle vs.) ve gözlemsel verileri (görünen parlaklık, renk, paralaks vs.) devam etmekte olan kataloglama çalışmamızdan (TÜBİTAK 104T508 nolu proje) temin edilmiştir. Öncelikle, bu yıldızlar arasından gözlenen ışığa yoldaş yıldızın katkısı boşlanabilecek kadar küçük olan, tek çizgili tayf gösteren sistemler ayıklanmıştır. Tayfında iki veya çok yıldızın etkisi açıkça görülen sistemler arasından bileşenlerin ışık oranları hesaplanabilen 80 CAB yıldızı seçilmiştir. Bunlardan 32 tanesi, H-R diyagramında izokronlar ile yaş belirlenemeyen bölgeye düştükleri ve 11 tanesi de kütle aktarımı komplikasyonu gösterdikleri için, izokronlar ile yaş belirlemeye uygun olmadıkları için seçilmişler arasından çıkartılmıştır. Kalan 37 sisteme, teknik başarı ile uygulanmış ve bu sistemlerin izokron yaşları hataları ile birlikte belirlenmiştir. Tek çizgili olan sistemler de izokron setleri üzerinde işaretlenmiş ve 85 tanesinin muhtemel yaşı belirlenmiştir. Ancak, bu yaşlar iki çizgili sistemlerin yaşları kadar güvenilir değildir. Çünkü, bu tür yıldızlarda, çift sistemlerdeki gibi aynı yaşı teyit edebilecek yoldaşa ait veriler yoktur.

Anahtar Kelimeler: Aktif kromosferli çift yıldızlar, yıldız evrimi, izokronlar, izokron yaşları

Abstract

Isochrone fitting technique has been applied to chromospherically active binaries. The physical parameters (effective temperatures, radii, masses etc.) and observational data (apparent visual brightness, colors, parallaxes etc.) data has been collected from the Chromospherically Active Binary Catalogue which we are still collecting data for it (TUBITAK, project number 104T508). First, the systems with single lined spectra are selected out from the whole sample. From the rest, the systems with a known light ratio among the components, has been collected. From the 80 systems with known light ratios, the 32 system have fell in the region where isochronal ages cannot be determined. However, the technique has been applied successfully to 37 systems with known light ratios, and their isochronal ages were determined. Nevertheless, the single lined systems were also marked on isochrones and isochronal ages were also assigned for them. Ages for single lined systems have more uncertainty than single stars because with an unseen secondary one do not have information whether or not a system already passed through mass transfer stage.

Keywords: Chromospherically active binaries, stellar evolution, isochrones, isochronal ages

¹ Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale
nfiliz@physics.comu.edu.tr, eker@comu.edu.tr, demircan@comu.edu.tr

1. Giriş

RS CVn ve BY Dra türü sistemleri kapsayan Aktif Kromosferli Çift Sistemler (Chromosphericly Active Binaries, CAB), CaII H ve K çizgi merkezlerinde, bazen de H_{α} 'da gözlenen salmalar ve leke kaynaklı fotometrik değişimler ile karakterize edilir. Hall [1] tarafından genel özellikleri ortaya konulan RS CVn'ler ve Bopp ve Fekel [2]'in tanımladığı BY Dra türü sistemler ortak özellikler gösterdiği için ilk kez Strassmeier ve arkadaşları [3] tarafından birleştirilerek CAB olarak adlandırılmış ve kataloglanmıştır. Ardından Strassmeier ve arkadaşları [4], yeni keşfedilen CAB sistemlerini de ekleyerek katalogun yeni versiyonunu yayınlamıştır. Bu sınıflamaya yeni sistemlerin dahil edilmesi ve mevcut sistemler hakkındaki çalışmaların artması, kataloglama çalışmasının tekrar edilmesi ihtiyacını ortaya çıkartmıştır. Zeki Eker'in yürütücülüğünü üstlendiği, henüz tamamlanmamış proje kapsamında hazırlanan yeni CAB katalogunda bu sınıflamaya giren sistemlerin sayısının 300'ü geçeceği tahmin edilmektedir.

Aktif kormosferli çift yıldızların evrimsel durumları ve evrim durumlarının aktivite ile ilişkisi ilk kez Popper ve Ulrich [5] tarafından incelenmiştir. 26 RS CVn sistemi ile yapılan bu çalışmada sistemlerin genellikle anakol sonrası evrim aşamasında olduklarına dikkat çekilmiştir. CAB'lerin evrimsel durumlarının ve izledikleri evrimsel süreçlerin anlaşılabilmesi için çok sayıda sistemin yaşlarının duyarlı bir biçimde elde edilmesine ihtiyaç vardır. Bu sistemlerin yaşlarına bağlı olarak, dönme hızlarının, dönemlerinin, açısal momentumlarının ve aktivite belirteci olarak ele alınan diğer parametrelerinin değişiminin incelenmesine ışık tutmak amacıyla, CAB'lere izokronlar yardımıyla yaş belirleme tekniği titizlikle uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

2. Veriler

Seçilen CAB'lerin yaşlarının belirlenmesinde kullanılan izokronlar Maeder ve Meynet tarafından hesaplanmıştır. Maeder ve Meynet [6], Schaller ve arkadaşları [7]'nin evrim yollarını kullanarak izokron setlerini hesaplamışlardır. Bu hesaplamalarını daha sonra da geliştirerek yeni setler oluşturmuşlardır. Bu izokron setlerinde, Overshootingi dikkate alan izokronlar $3 \times 10^6 - 6.3 \times 10^9$ yaş aralıkları için ve dikkate almayan izokronlar ise 4×10^9 ve 1.3×10^{10} yaş aralıkları için metal bolluğunun dört farklı değerine göre ($Z=0.004, 0.008, 0.02$ ve 0.04 için) ayrı ayrı setler halinde hesaplanmıştır. Ayrıca He-Flash ve He-yanma evresi sonrasını dikkate alan hesaplamaları da $1.9 \times 10^9 - 1.3 \times 10^{10}$ yaş aralığı için vermişlerdir.

Aktif kromosferli yıldızların verileri için, Eker ve grubunun (Eker Z., Demircan O., Budding E., Erdem A., Çiçek C., Karataş Y., Bilir S., Soyduğan F., Doğru D., Filiz Ak N., Tüysüz M.) hazırlamakta olduğu CAB katalogunun üçüncü genişletilmiş versiyonu kullanılmıştır. Bu katalogda gerek daha önce CAB olarak tanımlanan sistemler hakkında yapılmış çalışmalara, gerekse yeni belirlenen CAB'lerin incelenmesine geniş yer verilmektedir. Bu yeni katalog 2000'e yakın kaynaktan toplanan veriler ile yaklaşık 300 aktif kromosferli yıldızın en güncel bilgilerini içermektedir. Katalog ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir. Katalogda yıldızların sıcaklık, renk, parlaklık, kütle yarıçap gibi temel parametrelerinin yanı sıra X-ışın ışınımı, radyo ışınımı, mor ötesi ışınımı, leke aktivitesi ile ilgili bilgilerine, lityum ve demir bollukları gibi özelliklerine de yer verilmiştir.

Yıldızların yaşlarını belirlemede etkin bir faktör olan ağır elementlerinin bolluk değerleri, CAB yıldızlarının bir çoğu için bilinmemektedir. Nordstrom ve arkadaşları [8], çalışmalarında gerek tayfsal gerek fotometrik yöntemler ile belirlenebilen demir bolluğunun, toplam ağır element bolluğu ile ilişkisini çok sayıda F ve G yıldızını kullanarak irdelemiş ve yıldızların demir bollukları ile toplam ağır element bolluklarının birebir ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Eker ve grubunun sürdürdüğü kataloglama çalışmasında, CAB yıldızlarının ölçülmüş [Fe/H] değerleri de yer almaktadır. Buna dayanarak, yıldızlara uygun izokron setleri belirlenirken literatürdeki demir bollukları dikkate alınmıştır.

Devam etmekte olan kataloglama çalışmasında yer alan 300 kadar CAB sistemi içinden, literatür verisi toplama işlemi tamamlanmış 219 sistem seçilmiştir. Bu sistemlerin yaşlarının belirlenmesinde temel kriter, sistemin bileşenlerinin ayrı ayrı izokron setleri üzerinde işaretlenebilmesi olduğundan ilk olarak uzaklığı ya da bileşenler arası parlaklık oranı bilinmeyen 19 sistem eksik veri nedeniyle listeden çıkartılmıştır.

2.1. Sistemlerin Sınıflandırılması

İzokronlar yardımıyla yaş belirleme tekniği, bir çift yıldız sistemi bileşenlerinin, izokronların bulunduğu bir H-R diyagramı üzerinde işaretlenerek en uygun yaş çizgisine göre yaşının belirlenmesine dayanmaktadır. Bu nedenle bileşenlerinden bir ya da bir kaç birden diyagram üzerinde işaretlenebilen sistemleri ayıklamak birinci adımdır.

Diyagramlar üzerinde en az iki bileşenin birlikte işaretlenebilmesi, sistemin yaşının daha doğru elde edilebilmesini sağlamaktadır. Katalogda yer alan CAB sistemlerinden bileşenler arası parlaklık oranı ve sıcaklıkları bilinen 80 sistem öncelikli olarak ele alınmıştır. Bu sistemler genellikle tayflarında her iki bileşenine ait çizgileri ayırt edilebilen çift çizgili sistemlerdir. Ancak tek çizgili olduğu halde, tutulma göstermeleri nedeniyle parlaklık oranı ve sıcaklıkları bilinen sistemler de çift çizgili gibi kabul edilmiştir.

Kimyasal kompozisyonu bilinen bir yıldızın etkin sıcaklık ve ışınım gücü ya da (B-V) ve M_v parametreleri duyarlı olarak bulunursa, yaşı da duyarlı olarak hesaplanabilir. Eğer yıldızın Z değeri gözlemlerle belirlenmiş değilse, Z'deki belirsizlik, diğer gözlem parametrelerindeki hatalara ek olarak bir belirsizlik getirecektir. Çünkü, tek bir yıldız her biri farklı Z değerleri için hesaplanmış izokron setleri üzerinde farklı yaş çizgileri üzerine oturabilir. Tek yıldızlar için ifade edilen bu olumsuzluk, çift yıldız üyesi olduğu halde, yoldaşı görülemeyen, tek çizgili çift yıldızlar için de söz konusudur. Tek bir bileşeninin parametreleri bilinen CAB sistemleri için de benzer bir biçimde yaş belirlenmiştir. Ancak elde edilen yaşlar için verilen belirsizlik bahsedilen bu olumsuz durumdan bağımsız olarak, gözlemsel hatalara göre hesaplanmış olan matematiksel belirsizliği içermektedir.

Tek çizgili sistemler sınıflamasına, tayflarında her iki bileşene ait çizgiler ayrı ayrı görülebildiği halde bileşenleri diyagramda aynı nokta üzerine düşen, yani aynı sıcaklık ve parlaklık değerine sahip olan ikiz yıldızlar ve yeterince çalışması olmadığından yoldaş bileşene ait parametreleri bilinmeyen sistemler de dahil edilmiştir.

3. Yaşların Belirlenmesi

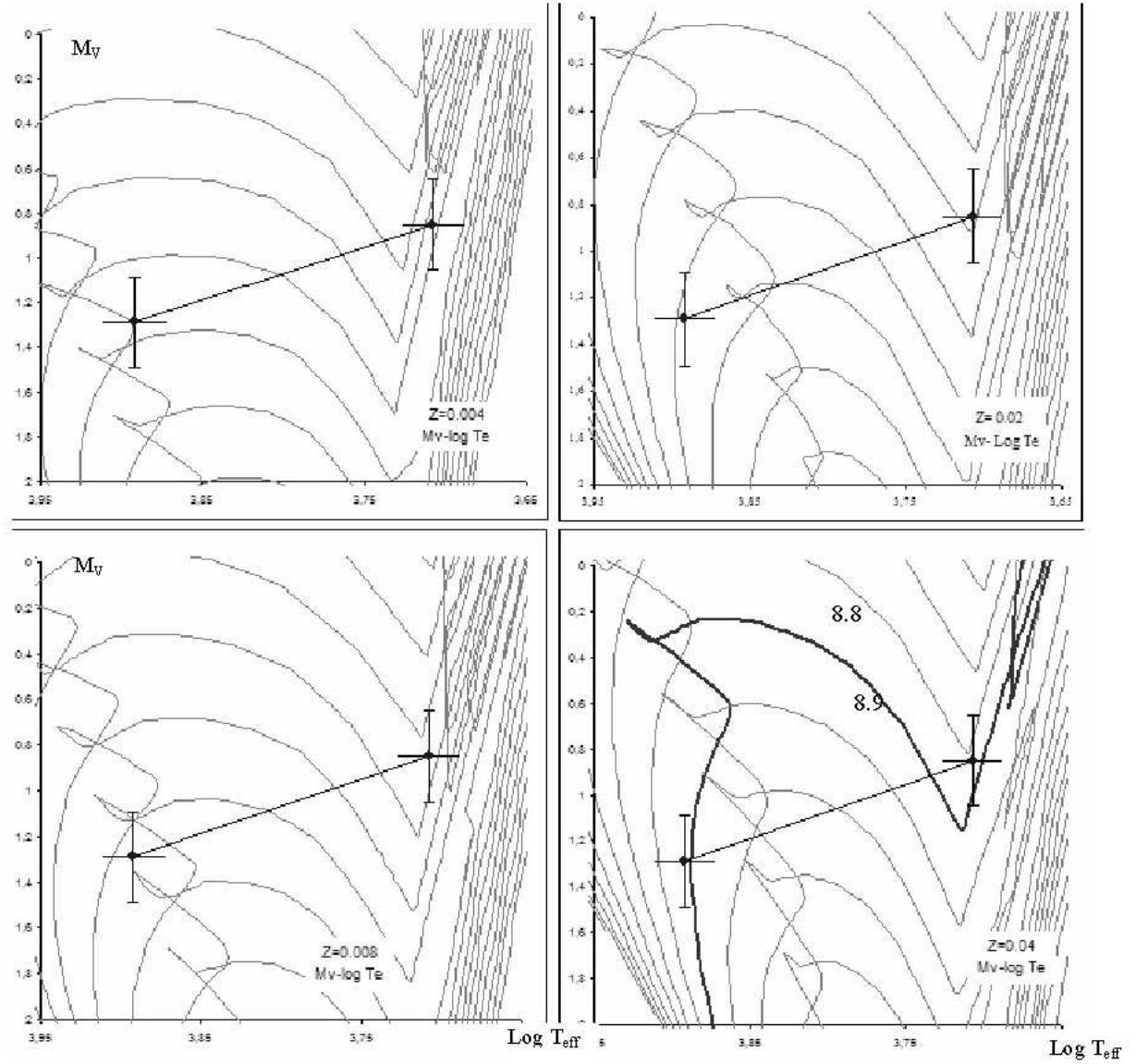
3.1. Çift Çizgili Sistemler

Bileşenler arası parlaklık oranı bilinen 80 CAB'den 30'u, izokronlarla yaş belirlenemeyen bölgeye düşmektedir. İzokron çizgileri özellikle anakol civarında oldukça yakın ve birbirine paralel durumdadır. Sistemlerin sıcaklık ve parlaklığının belirlenmesindeki gözlemsel hatalar da dikkate alındığında, bu bölgede bulunan yıldızların yaşları hakkında kesin bilgiler vermek mümkün değildir.

Her iki bileşeni de işaretlenebilen sistemlerde, bileşenlerin konumları hem elde edilen yaşı teyit etmekte hem de sistemin metal bolluğu hakkında bilgi vermektedir. Şekil 1'de örnek olarak DQ Leo'nun farklı metal bolluğuna sahip izokron setleri üzerindeki konumları gösterilmektedir. Sistemin her iki bileşenini birden tanımlayan en uygun izokron, $Z=0.04$ setinde mevcuttur. Farklı metal bolluğunu temsil eden izokron setlerinde böyle bir durum söz konusu olmadığından, her iki bileşeni de diyagramda doğru olarak işaretlenebilen sistemlerin yaşlarının yanı sıra metal bolluklarını da belirlemek mümkündür.

DQ Leo'nun literatürden bulunan metalisite değeri, $Z=0.021$ 'dir. Ancak sistemin bileşenlerinin M_v ve T_{eff} değerleri, dört farklı metalisite değeri için çizilmiş izokron setlerinin bulunduğu diyagramlara aktarıldığında sistemi en iyi tanımlayan izokronun $Z = 0.04$ olduğu

görülmüştür (Şekil 1). DQ Leo sisteminin bu izokron setlerinden bulunan yaşı 591 milyon ve hatası da %2.2'dir.



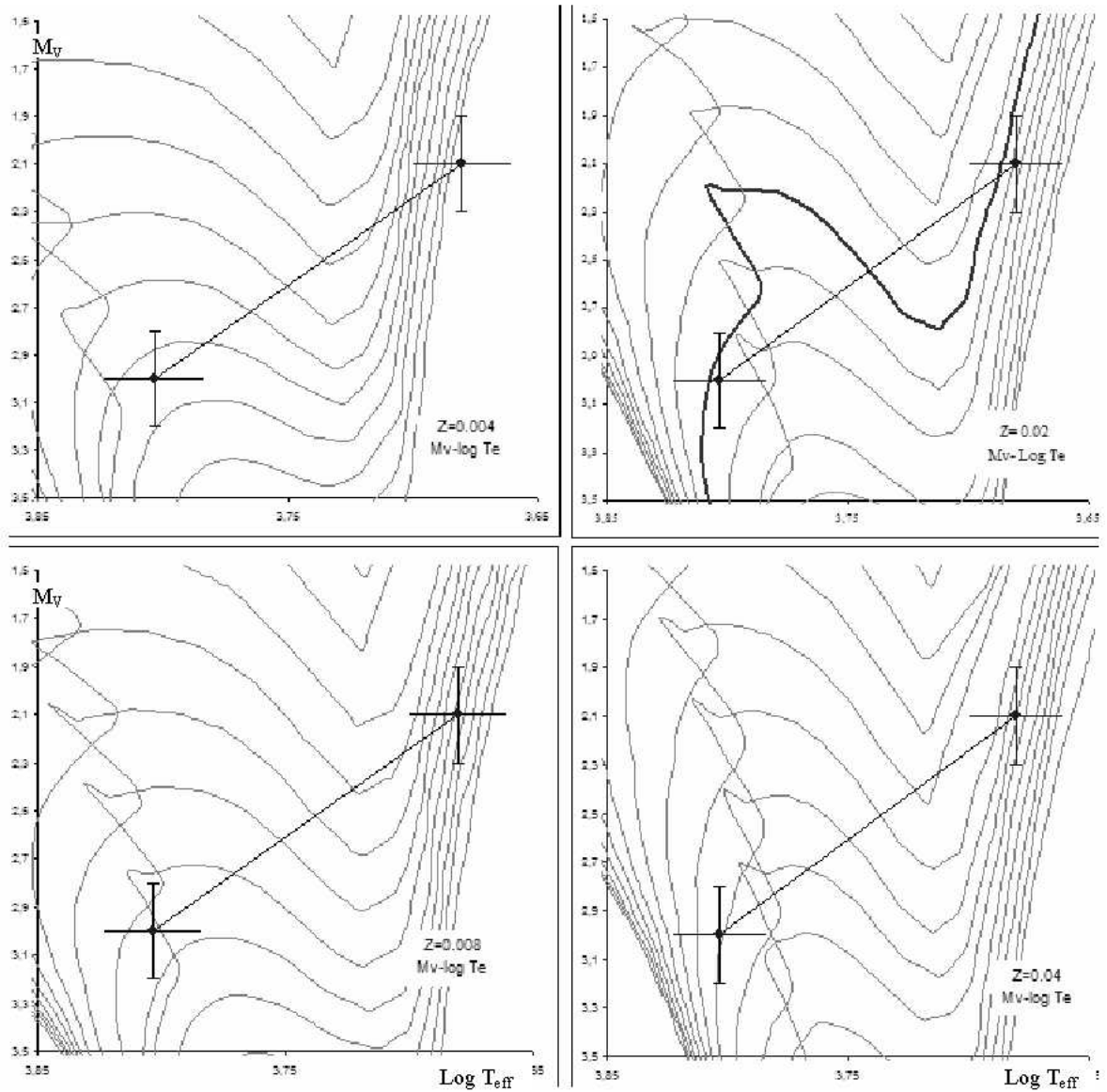
Şekil 1: DQ Leo sisteminin izokron setleri üzerindeki konumu. Sistemin yaşını veren izokron koyu renkle gösterilmiştir, izokronlar üzerindeki yaşlar logaritmiktir.

Tablo 1: İkinci alt gruptan yaşı iyi belirlenen sistemler

Sistemin No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	P dolanma (gün)	Tutulma R.H.	Metalisite		İzokron Yaşı (yıl)	Yaştaki Belirsizlik (yıl)	Görelî Belirsizlik %
						Eğrisi	Gözlemsel İzokron			
1	V965 Sco	158393	K0III+F2IV	30.969	Yok	+	0.04	$1.26 \cdot 10^9$	$0.02 \cdot 10^9$	1.56
2	RT CrB	139588	G5V+K0V	5.117	Var	+	0.02	$3.38 \cdot 10^9$	$0.06 \cdot 10^9$	1.62
3	DQ Leo	102509	A7IV+G7III	71.691	Yok	+	0.021	$5.91 \cdot 10^8$	$0.13 \cdot 10^8$	2.20
4	SZ Psc	219113	K1IV+F8V	3.965	Var	+	0.002	$3.98 \cdot 10^9$	$0.12 \cdot 10^9$	3.17
5	LX Per		F8V+G8IV-V	8.038	Var	+	0.006	$7.94 \cdot 10^9$	$0.41 \cdot 10^9$	5.17
6	Z Her	163930	K0IV+F5	3.993	Var	+	0.013	$3.98 \cdot 10^9$	$0.21 \cdot 10^9$	5.17
7	AE Lyn	65626	F8IV-V + G5IV	11.068	?	+	0.020	$2.19 \cdot 10^9$	$0.11 \cdot 10^9$	5.39
8	VV Mon		K0IV+G2IV	6.051	Var	+	0.02	$2.77 \cdot 10^9$	$0.16 \cdot 10^9$	5.99
9	CQ Aur	250810	F5V+K1IV	10.623	Var	+	0.04	$6.31 \cdot 10^9$	$0.49 \cdot 10^9$	7.77
10	Alf. Aur	34029	G1III+K0III	104.023	Yok	+	0.008	$5.27 \cdot 10^8$	$0.42 \cdot 10^8$	7.97

Sistemin her iki bileşenini de temsil edebilen izokron, sistemin yaşını vermektedir. Elde edilen yaştaki belirsizlik ise bileşenlerin izokron çizgisine olan uzaklığından elde edilmektedir. Parlaklık oranı bilinen sistemlerden 10 tanesinin elde edilen yaşlarındaki belirsizlik %10'un altındadır, bu sistemleri yaşı iyi bilinen sistemler olarak ayrı bir alt grupta topladık. Şekil 1'de örnek olarak verilen DQ Leo'yu da içeren bu alt gruptaki CAB'lerin elde edilen yaşları, ağır element bollukları ve yaşlardaki belirsizlikler Tablo 1'de listelenmiştir. Ayrıca tabloda sistemlerin tutulma gösterip göstermediklerine ve radyal hız eğrisinin çözümün yapıp yapılmadığına dair açıklamalara da yer verilmiştir.

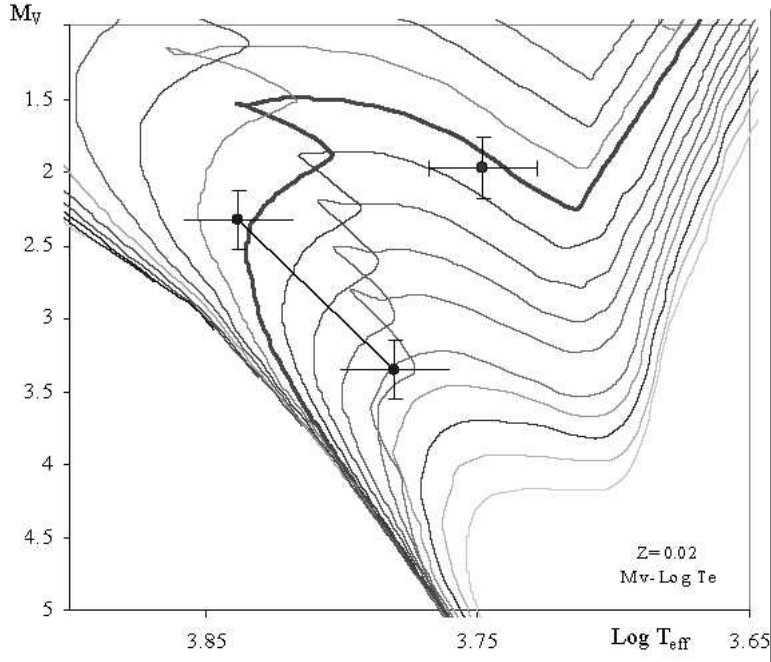
DQ Leo sistemine benzer olarak yaşı duyarlı bir biçimde belirlenen VV Mon'un bileşenlerinin izokron setleri üzerindeki konumları Şekil 2'de gösterilmiştir. VV Mon sistemi için literatürde herhangi bir Z değeri bulunamamıştır. Ancak buradaki yaş belirleme çalışmasında sistemin yaşı 2.770 milyar yıl ve metal bolluğu değeri de 0.02 olarak elde edilmiştir.



Şekil 2: VV Mon sisteminin bileşenleri ve sistemin yaşını veren izokron

Her iki bileşeni de diyagramlar üzerinde işaretlenebilen diğer sistemlerde elde edilen yaşların hatası %10-%60 arasındadır. Belirsizliklerin büyük olmasının temel sebebi, sistem

parametrelerinin duyarlılığının düşük olmasından ya da sistemin doğasından kaynaklanmaktadır. Hatası büyük olan sistemlere bir örnek olarak V819 Her'in izokron setleri üzerindeki konumu Şekil 3'te gösterilmiştir. V819 Her sistemi üç bileşenli bir sistemdir. V819 Her, F2 ve F8 tayf türünden olan bir ikili sistem bir de büyük yörüngede dolanan üçüncü bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan F8 tayf türünden olan en sönük bileşenin parlaklığının yanlış hesaplanmış olması ihtimali yüksektir. Çünkü şekilden de görüldüğü gibi diğer bileşenler aynı izokron üzerinde bulunurken en sönük bileşen bu izokron üzerinde değildir. Bu sistemin yaşı belirlenirken en sıcak ve en soğuk olan parlak iki bileşen dikkate alınmıştır. Bu grupta bulunan sistemlere ilişkin bilgiler Tablo 2'de yer almaktadır.



Şekil 3: V819 Her sisteminin bileşenleri ve sistemin yaşını veren izokron

Tablo 2: Hatası %10-%60 arasında olan sistemler ve elde edilen yaşları.

No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	Tutulma R.H.	Metalisite		İzokron Yaşı (yıl)	Yaştaki Belirsizlik (yıl)	Görelî Belirsizlik %	
					Eğrisi	Gözlemsel İzokron				
1	V1817 Cyg	184398	K2III-II+A2V	Yok	+	0.016	0.004	$8.83 \cdot 10^8$	$0.89 \cdot 10^8$	10.08
2	PW Her		K0IV+F8-G2	Var	+		0.02	$7.94 \cdot 10^9$	$0.81 \cdot 10^9$	10.29
3	CS Cet	6628	(G8-K1)III/IV+FV	Yok	+	0.001	0.008	$6.31 \cdot 10^9$	$0.68 \cdot 10^9$	10.87
4	TZ CrB	146361	F9V+G0V	Yok	+		0.04	$3.55 \cdot 10^9$	$0.41 \cdot 10^9$	11.61
5	epsilon UMi	153751	A8-F0V + G5III	Var	+	0.010	0.02	$2.51 \cdot 10^8$	$0.33 \cdot 10^8$	13.14
6	RZ Eri	30050	Am+K0IV	Var	+	0.003	0.04	$3.38 \cdot 10^9$	$0.50 \cdot 10^9$	14.79
7	V819 Her	157482	G8IV-III+(F2V+F8V)	Var	+	0.016	0.02	$1.59 \cdot 10^9$	$0.25 \cdot 10^9$	15.77
8	TZ Tri	13480	F5+K0III	?	+		0.02	$8.60 \cdot 10^8$	$1.40 \cdot 10^8$	16.29
9	BD+10 4514	202908	(F9V+G0V)+G1V	Yok	+		0.02	$5.01 \cdot 10^9$	$1.03 \cdot 10^9$	20.55
10	HK Lac	209813	K0III+FIV	?	+	0.008	0.008	$2.00 \cdot 10^9$	$0.41 \cdot 10^8$	20.55
11	BL CVn	115781	G5IV+K1III	Yok	+		0.02	$5.01 \cdot 10^9$	$1.03 \cdot 10^9$	20.55
12		57853	F9.5V+(K3V+K5V)	Yok	+	0.020	0.02	$7.94 \cdot 10^9$	$1.63 \cdot 10^9$	20.56
13	AP Psc	352	K2-4III+F	Var	+		0.004	$3.98 \cdot 10^9$	$0.82 \cdot 10^9$	20.57
14	eta And	5516	G8IV-III + G8IV-III	Yok	+	0.007	0.008	$1.00 \cdot 10^9$	$0.21 \cdot 10^9$	20.60
15	TW Lep	37847	F6IV+K2III	?	+	0.013	0.02	$1.59 \cdot 10^9$	$0.33 \cdot 10^9$	21.14
16	AI Phe	6980	~F7V+K0IV	Var	+	0.020	0.02	$3.98 \cdot 10^9$	$0.99 \cdot 10^9$	24.77

Tablo 2'nin devamı

No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	Tutulma R.H.		Metalisite		İzokron Yaşı (yıl)	Yaştaki Belirsizlik (yıl)	Görelî Belirsizlik %
				Eğrisi	Gözlemsel	İzokron				
17	MM Her	341475	G2IV+K1IV	Var	+		0.008	1.00 10 ¹⁰	0.26 10 ¹⁰	25.89
18	SS Boo		G0V+K1IV	Var	+		0.02	1.00 10 ¹⁰	0.26 10 ¹⁰	25.89
19	GK Hya		F8V+G8IV	Var	+		0.04	2.00 10 ⁹	0.52 10 ⁹	25.91
20	KX Peg	212280	F5-F8V+G8IV	Var	+		0.04	2.00 10 ⁹	0.52 10 ⁹	25.91
21	BD+15 4053	191179	K0IV+G2IV	?	-	0.001	0.008	3.98 10 ⁹	1.16 10 ⁹	29.21
22	V792 Her	155638	F3V+K0III	Var	+	0.007	0.004	1.59 10 ⁹	0.49 10 ⁹	30.85
23	SS Cam		F6IV+K0IV	Var	+		0.02	3.98 10 ⁹	1.47 10 ⁹	36.90
24	V829 Cen	101309	G5V+K1IV	?	+	0.006	0.008	7.94 10 ⁹	2.93 10 ⁹	36.90
25	RU Cnc		F5IV+K1IV	Var	+		0.02	3.16 10 ⁹	1.17 10 ⁹	36.91
26	QX Ser	141690	((G2IV-V+M2V)+G5-8V)	Var	+	0.023	0.02	6.31 10 ⁹	3.69 10 ⁹	58.49
27	UV Leo	92109	G0V+G2V	Var	+	0.008	0.008	1.00 10 ¹⁰	0.58 10 ¹⁰	58.49

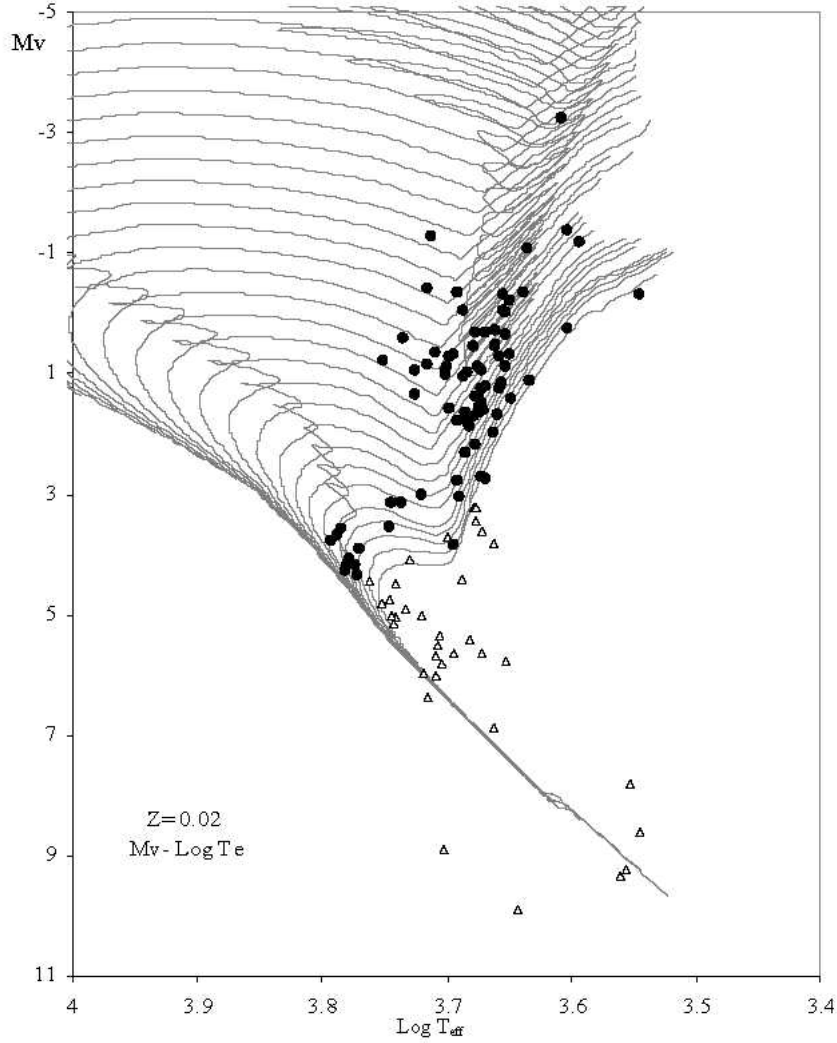
Parlaklık oranı bilinen sistemlerin üçüncü alt grubunda ise problemliler yer almaktadır. Problemliler sınıflamasına aldığımız 13 sistem için herhangi bir yaş belirlemek mümkün görünmemektedir. Bu sistemlerden BH Vir ve ER Vul, anakol üzerinde izokronların çok kalabalık olduğu bir bölgeye düşmektedir. Diğerlerinde ise sistemin yaşını belirlemeye engel benzer özellikler görülmektedir. Problemliler ve problemleri Tablo 3'te listelenmiştir. Problemliler yaşlarının belirlenememesinin nedeni, gözlemsel parametrelerindeki hatalar ya da izokronlar ile yaş belirleme tekniğinin eksikliği değildir. Bu sistemlerde, sıcak bileşeni temsil eden izokron çizgisi dikkate alındığında soğuk bileşen olması gerekenden daha soğuk ve daha söntüktür.

Tablo 3: Problemliler

No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	P	Gözlemsel	Problem
				dolanma (gün)	Metalisite	
1	BH Vir	121909	G0V+G2V	0.817	0.010	Anakol belirsizliği
2	ER Vul	200391	G0V+G5V	0.698		Anakol belirsizliği
3	CF Tuc	5303	G0V-IV + K4V-IV	2.798	0.003	Kütle transferi komplikasyonu
4	UX Ari	21242	K0IV+G5V	6.437	0.001	Kütle transferi komplikasyonu
5	V711 Tau	22468	K1IV+G5IV	2.838	0.005	Kütle transferi komplikasyonu
6	RZ Cnc	73343	K1III+K4III	21.643	0.006	Kütle transferi komplikasyonu
7	RS CVn	114519	F4IV+G9IV	4.798	0.003	Kütle transferi komplikasyonu
8	BH CVn	118216	F2IV+K2IV	2.613	0.003	Kütle transferi komplikasyonu
9	MS Ser	143313	K2IV-III+G8V	9.015		Kütle transferi komplikasyonu
10	WW Dra	150708	G2IV+K0IV	4.630		Kütle transferi komplikasyonu
11	RS UMi		G0+G-K	6.169		Kütle transferi komplikasyonu
12	RW UMa		F9V+K1IV	7.328	0.002	Kütle transferi komplikasyonu
13	CF Tau	284137	G0	2.756		Kütle transferi komplikasyonu

3.2 Tek Çizgili Sistemler

Yalnızca bir bileşeni diyagram üzerinde işaretlenebilen 85 CAB sisteminin izokron setleri üzerindeki konumları Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekilde üçgenler ile işaretlenen sistemler izokron çizgilerinin bulunmadığı ya da yıldızın parametrelerindeki hatalar da dikkate alındığında yaşının hesaplanamadığı bölgelere düşmektedir. Üçgenlerle gösterilen bu 35 sistem için herhangi bir yaş belirlenmemiştir. Bu gruptaki sistemler için elde edilen yaşlar Tablo 4'te listelenmiştir.



Şekil 4: Tek bileşenin parametreleri bilinen sistemlerin izokronlar üzerindeki dağılımı. Üçgenlerle gösterilen sistemler için yaş belirlenmemiştir.

Tablo 4: Tek bileşeni bilinen sistemler ve yaşları

No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	P dolanma (gün)	Tutulma R.H.	Metalisite Eğrisi	Metalisite İzokron	İzokron Yaşı (yıl)	Yaştaki Belirsizlik (yıl)	Görelî Belirsizlik %	
1	AY Cet	7672	G5III	56.824	Yok	+	0.008	0.008	$7.56 \cdot 10^8$	$0.55 \cdot 10^8$	7.27
2	BD+14 690	27691	F9V	4.000	Yok	+	0.02	0.02	$3.71 \cdot 10^9$	$0.30 \cdot 10^9$	8.09
3	V413 And	223971	A7V+G0III	50.115	Var	+	0.02	0.02	$7.62 \cdot 10^8$	$0.65 \cdot 10^8$	8.59
4	IN Com	112313	G5III-IV		Yok	+	0.02	0.02	$3.13 \cdot 10^8$	$0.27 \cdot 10^8$	8.69
5	XX Tri	12545	K0III	23.969	Yok	+	0.02	0.02	$1.84 \cdot 10^9$	$0.20 \cdot 10^8$	11.13
6	EL Eri	19754	G8III-IV	48.263	?	+	0.008	0.008	$1.41 \cdot 10^9$	$0.16 \cdot 10^9$	11.48
7	EI Eri	26337	G5IV+G0V	1.947	Yok	+	0.028	0.02	$4.47 \cdot 10^9$	$0.51 \cdot 10^9$	11.53
8	BD+04 532	21018	G5III	287.201	?	+	0.010	0.02	$1.78 \cdot 10^8$	$0.20 \cdot 10^8$	11.53
9	SZ Pic	39917	K0IV/III+G3IV/III		Yok	-	0.004	0.004	$1.12 \cdot 10^9$	$0.13 \cdot 10^9$	11.59
10	BQ CVn	112859	G8IIIp		?	-	0.02	0.02	$1.12 \cdot 10^9$	$0.13 \cdot 10^9$	11.59
11	UV CrB	136901	K2III	18.667	?	+	0.008	0.008	$1.12 \cdot 10^9$	$0.13 \cdot 10^9$	11.59
12	TY Pic	42504	G8III+F	106.800	Yok	+	0.008	0.008	$1.00 \cdot 10^9$	$0.11 \cdot 10^9$	11.60
13	LN Peg		G8V+K5V	1.844	?	+	0.006	0.008	$3.98 \cdot 10^9$	$0.46 \cdot 10^9$	11.60
14	V2253 Oph	152178	K0III	314.470	?	+	0.02	0.02	$3.16 \cdot 10^8$	$0.36 \cdot 10^8$	11.61
15	V642 Mon		G9IV		?	-	0.02	0.02	$3.16 \cdot 10^9$	$0.36 \cdot 10^9$	11.61
16	FG Uma	89546	G9III	21.360	?	+	0.006	0.008	$1.59 \cdot 10^9$	$0.18 \cdot 10^9$	11.61

Tablo 4'ün devamı

No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	P dolanma (gün)	Tutulma R.H.		Metalisite		İzokron Yaşı (yıl)	Yaştaki Belirsizlik (yıl)	Görelî Belirsizlik %
					Eğrisi	Gözlemsel	İzokron				
17	BD+44 2760	161570	G7III	45.623	?	+		0.02	6.76 10 ⁸	0.78 10 ⁸	11.61
18	V832 Her	155989	G5III	122.560	Yok	+		0.02	7.08 10 ⁸	0.82 10 ⁸	11.61
19	LZ Vel	86005	K4III+K1/2III		?	-	0.013	0.02	7.08 10 ⁷	0.82 10 ⁷	11.61
20	AS Cap	205249	K1III	49.137	?	+	0.026	0.02	7.08 10 ⁸	0.82 10 ⁸	11.61
21	VX Pyx	72688	K0III+F6IV	45.130	Yok	+	0.026	0.02	5.01 10 ⁸	0.58 10 ⁸	11.61
22	V510 Per	19942	G5IV	45.779	?	+		0.02	7.13 10 ⁸	0.82 10 ⁸	11.61
23	ZI 498	39937	F7IV		?	+	0.020	0.02	5.62 10 ⁸	0.65 10 ⁸	11.61
24	V832 Ara	165141	G8III+WD	5200.0	Yok	+	0.007	0.008	5.62 10 ⁸	0.65 10 ⁸	11.61
25	BD+40 2194	80492	K0III	23.853	?	+		0.02	7.94 10 ⁸	0.92 10 ⁸	11.62
26	AT Cap	195040	K2III+F?	23.206	Yok	+		0.02	7.94 10 ⁸	0.92 10 ⁸	11.62
27	KU Peg	218153	G9-K0II-III	1411.000	?	+		0.02	1.78 10 ⁹	0.20 10 ⁹	11.64
28	lamda And	222107	G8III-IV	20.521	Yok	+	0.006	0.008	2.00 10 ⁹	0.41 10 ⁹	20.55
29	UV For	10909	K0IV	30.107	?	+	0.008	0.008	5.01 10 ⁹	1.16 10 ⁹	23.14
30	YZ Men	34802	K1III _p	19.310	Yok	+	0.004	0.004	5.01 10 ⁹	1.16 10 ⁹	23.14
31	EE UMa	99967	K2IIICN-1	74.873	?	+		0.02	5.01 10 ⁸	1.16 10 ⁸	23.14
32	HU Vir	106225	K2III+F1V?	10.388	Yok	+	0.002	0.004	5.01 10 ⁸	1.16 10 ⁸	23.14
33	DW Leo	90385	G8III	99.850	?	+		0.02	5.01 10 ⁹	1.16 10 ⁹	23.15
34	BD+02 2705	118981	F9V+K0V	14.495	?	+	0.014	0.02	5.01 10 ⁹	1.16 10 ⁹	23.15
35	V361 Pup	54579	G0		?	-	0.010	0.02	7.08 10 ⁹	1.64 10 ⁹	23.17
36	zeta And	4502	K1III	17.769	?	+	0.006	0.008	1.26 10 ⁹	0.29 10 ⁹	23.17
37	BD Cet	1833	K1III+F	35.100	?	+	0.006	0.008	1.26 10 ⁹	0.29 10 ⁹	23.19
38	V492 Per	28591	K1III	21.289	?	+	0.011	0.02	1.26 10 ⁹	0.29 10 ⁹	23.19
39	IS Vir	113816	K2III	23.655	Yok	+	0.016	0.02	1.26 10 ⁹	0.29 10 ⁹	23.19
40	V764 Cen	118238	K2III _p	27.740	Yok	+	0.015	0.02	1.26 10 ⁹	0.29 10 ⁹	23.19
41	V1971 Cyg	193891	K0III	38.787	?	+		0.02	1.26 10 ⁹	0.29 10 ⁹	23.19
42	BM Cam	32357	K0III	80.898	?	+	0.008	0.008	1.00 10 ⁹	0.23 10 ⁹	23.20
43	GT Mus	101379	K4III+	61.448	?	+	0.010	0.02	1.00 10 ⁹	0.23 10 ⁹	23.20
44	BF Psc	9313	K0	53.504	?	+		0.02	1.00 10 ¹⁰	0.23 10 ¹⁰	23.20
45	V1197 Ori	38099	K4III	143.040	?	+		0.02	1.00 10 ¹⁰	0.23 10 ¹⁰	23.20
46	FR Boo	122767	K0III	1189.180	?	+		0.02	1.00 10 ¹⁰	0.23 10 ¹⁰	23.20
47	V846 Her	148405	G6III	52.453	?	+		0.02	1.00 10 ⁹	0.23 10 ⁹	23.20
48	BM Lyn	62668	K0III	69.323	Var	-		0.02	2.00 10 ⁹	0.46 10 ⁹	23.21
49	V1764 Cyg	185151	K1III+F	40.142	Yok	+	0.006	0.008	2.00 10 ⁹	0.46 10 ⁹	23.21
50	V2075 Cyg	208472	K0III	22.623	?	+		0.02	2.00 10 ⁹	0.46 10 ⁹	23.21
51	V826 Her	161832	K3III	99.557	?	+		0.02	1.59 10 ⁹	0.36 10 ⁹	23.22
52	omi Dra	175306	G9III	138.420	Yok	+	0.006	0.008	1.59 10 ⁹	0.36 10 ⁹	23.22
53	BD+39 4529	203454	F8V+~K5V	3.243	Yok	+	0.011	0.02	3.55 10 ⁹	0.82 10 ⁹	23.22
54	LU Hya	71071	K1IV	16.537	?	+	0.020	0.02	8.91 10 ⁹	2.07 10 ⁹	23.22
55	V403 Aur	39743	G8III	83.200	Yok	+		0.02	8.91 10 ⁸	2.07 10 ⁸	23.22
56	V4138 Sgr	181809	K0III-IV	13.047	Yok	+	0.016	0.02	1.78 10 ⁹	0.41 10 ⁹	23.23
57	BD+28 1600	71028	K0III		?	-		0.02	1.58 10 ⁹	0.36 10 ⁹	23.23
58	V344 Pup	61245	K1IV/III	11.761	Yok	+	0.008	0.008	3.98 10 ⁹	0.92 10 ⁹	23.24
59	FF Uma	82286	K0IV+K0IV		Var	-		0.02	3.98 10 ⁹	0.92 10 ⁹	23.24
60	DK Dra	106677	K1III+K1III	64.440	Yok	+	0.003	0.02	3.98 10 ⁹	0.92 10 ⁹	23.24
61	IL Com	108102	F8V+F8V	0.962	?	+	0.013	0.02	3.98 10 ⁹	0.92 10 ⁹	23.24
62	BU Cet	3196	(F7V+) G4V	2.082	Yok	+	0.020	0.02	3.98 10 ⁹	0.92 10 ⁹	23.24
63	CL Cam	33363	K0III	20.869	Yok	+		0.02	2.82 10 ⁹	0.65 10 ⁹	23.24
64	IT Com	118234	K0III	59.054	Yok	+	0.013	0.02	2.82 10 ⁹	0.65 10 ⁹	23.24
65	IL Hya	81410	K1/2III/IV+G5V/IV	12.905	Yok	+	0.006	0.008	3.16 10 ⁹	0.73 10 ⁹	23.24
66	V1149 Ori	37824	K0III	53.575	Yok	+	0.020	0.02	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25
67	IN Vel	83442	K2III _p	52.270	Yok	+	0.021	0.02	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25
68	V4139 Sgr	182776	K2-3 III	45.180	?	+	0.017	0.02	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25
69	BN Mic	202134	K1III _p	63.090	?	+	0.017	0.02	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25

Tablo 4'ün devamı

No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	P dolanma (gün)	Tutulma R.H.		Metalisite		İzokron Yaşı (yıl)	Yaştaki Belirsizlik (yıl)	Görelî Belirsizlik %
					Eğrisi	Gözlemsel	İzokron				
70	V350 Lac	213389	K2IV-III	17.755	Yok	+	0.008	0.008	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25
71	AZ Psc	217188	K0III	47.121	Yok	+	0.014	0.02	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25
72	BC Psc	28	K0IIIb	72.930	?	+	0.010	0.02	3.57 10 ⁹	0.83 10 ⁹	23.25
73	BQ Hyi	14643	K0IV-III + G4IV	18.379	Var	+	0.020	0.02	2.51 10 ⁹	0.58 10 ⁹	23.25
74	TZ Col	39576	G1V		Yok	-		0.02	7.94 10 ⁹	1.85 10 ⁹	23.29
75	TZ Pic	46697	K2III+K0IV?	13.637	Yok	+	0.008	0.008	7.94 10 ⁹	1.85 10 ⁹	23.29
76	BM CVn	116204	G8III	20.625	Yok	+	0.013	0.02	7.94 10 ⁹	1.85 10 ⁹	23.29
77	BD+36 2368	116378	G5V	17.764	?	+		0.02	6.31 10 ⁹	1.47 10 ⁹	23.30
78	V4091 Sgr	190540	K0III	16.887	?	+	0.008	0.008	6.31 10 ⁹	1.47 10 ⁹	23.30
79	BD+42 1790	65195	G5III+dF	37.900	?	+		0.02	6.31 10 ⁹	1.47 10 ⁹	23.30
80	BD+17 4009	184591	F/K0III		?	-		0.02	5.62 10 ⁹	1.31 10 ⁹	23.30
81	FK Uma		G1IV-V	6.572	Yok	+	0.020	0.02	5.62 10 ⁹	1.31 10 ⁹	23.30
82	CD-59 4623	114630	G0V+G0V	4.233	Olabilir	+	0.010	0.02	7.94 10 ⁹	1.85 10 ⁹	23.30
83	LS TrA	137164	K2IV+K2IV	49.431	?	+	0.006	0.008	7.94 10 ⁹	1.85 10 ⁹	23.30
84	V1379 Aql	185510	K0III+sdB	20.662	Var	+	0.010	0.02	2.00 10 ⁹	0.52 10 ⁹	25.86
85	BH Ind	204128	K1IIICNIVp	22.349	?	+	0.019	0.02	7.08 10 ⁹	3.28 10 ⁹	46.33

4. Tartışma

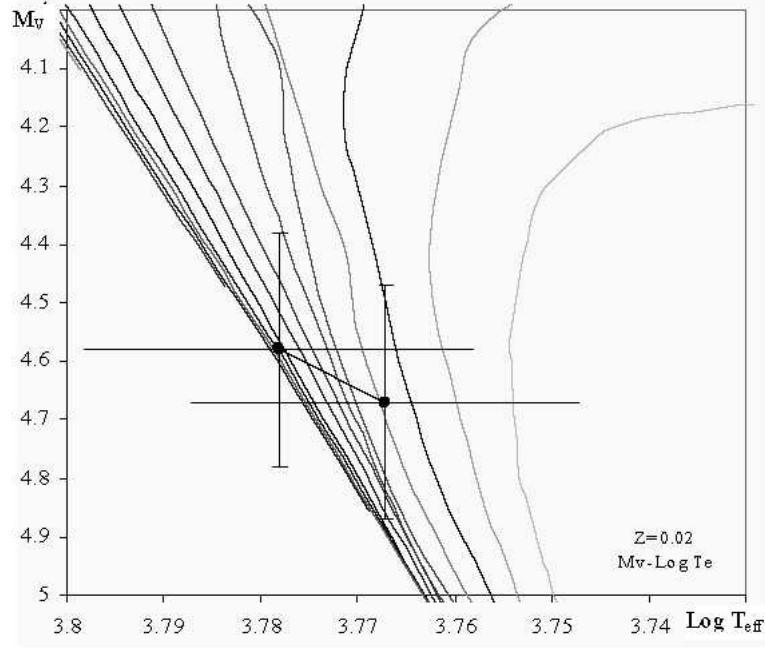
4.1. Problemlî Sistemler

Problemlî sistemler olarak sınıflandırılan yıldızların yaşının belirlenememesinin nedeni, sistemlerin gözlemlerden elde edilen parametrelerindeki hatalar ya da verilerinin eksik olması değildir. Bir çoğu tutulma gösteren, dikkatli çalışılmış çok verisi olan bu sistemlerin her iki bileşeninin parlaklığı ve parlaklık oranları, etkin sıcaklıkları çok iyi bilinmesine rağmen, H-R diyagramında bileşenlerin konumları, izokron yaşı belirlemeye uygun değildir.

Tayfsal çalışmalarından ve ışık eğrilerinden henüz anakolda G0V+G2V ve G0V+G5V tayf türünden olduğu belirlenen BH Vir ve ER Vul sistemlerinin bileşenleri, anakol üzerinde izokronların sıkışık olduğu, yani belirsizliğin yaş hesaplamaya engel olduğu bölgeye düşmektedir. BH Vir'in bileşenlerinin izokron setleri üzerindeki konumları temsil eden Şekil 5'te hemen hemen paralel, çok sayıda izokron çizgisinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. BH Vir'in bileşenlerinin konumlarındaki hata barlarının getirdiği belirsizlik ile, sistem için hangi izokronun en uygun olduğunu belirlemek mümkün değildir.

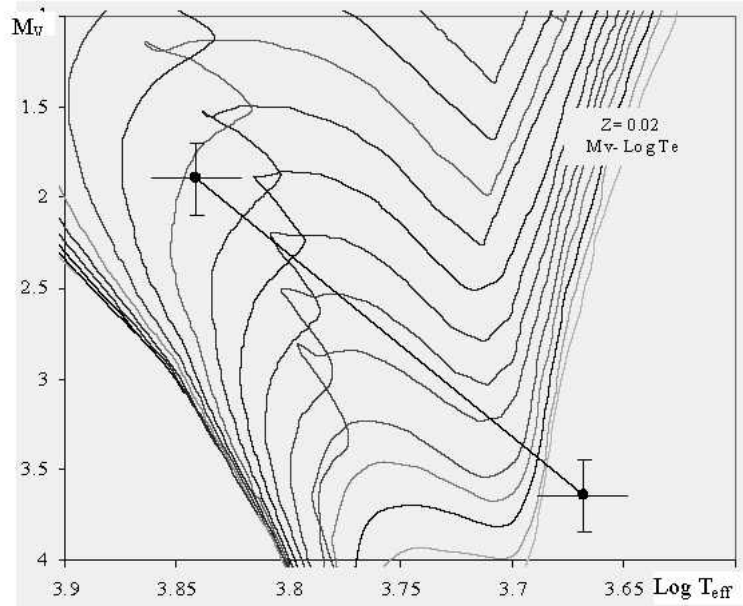
Anakol dışında, izokronların benzer şekilde paralel ve çok kalabalık olduğu bölge, asimtotik devler kolu olarak adlandırılan, anakol sonrasında kabukta hidrojen yanmasının da nispeten yavaşlamasının ardından, dış konvektif katmanın derinliğinin artmaya başladığı, yıldız yüzeyinin en soğuk ve en söntük olduğu noktadan, helyum yanmasının başladığı evreye kadar olan, asimtotik devler kolu olarak adlandırılan bölgedir. Ancak bu bölgedeki belirsizlikler, anakoldaki belirsizlikler kadar büyük değildir. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, bu bölgeye kadar evrimleşmiş bir bileşeni olan sistemlerde, diğer bileşenin izokronlarla yaşı belirlenebilecek bölgelere evrimleşmiş olma ihtimali büyüktür. İkincisi, her iki bileşeni de asimtotik devler bölgesinde olan sistemler için hesaplanan yaşın belirsizliği, her zaman yaşın değerinden küçüktür.

Evrimin ileri aşamalarındaki daha kütleli bileşen, anakol sonrası aşamalarda her zaman evrimde geride olan bileşene göre daha soğuktur. Daha soğuk olan bu bileşen ancak asimtotik devler kolunda yeterince yükseldikten sonra, evrimde geride olan bileşene göre parlak hale gelebilir.



Şekil 5: BH Vir sisteminin bileşenlerinin izokron setleri üzerindeki konumları

Problemli sistemlerin listelendiği Tablo 3'te her iki bileşeni anakolda olan BH Vir ve ER Vul dışındaki sistemlerin hemen hemen hepsinde soğuk bileşen evrimleşmiş bileşendir. Bu sistemlerde dikkat çeken bir durum, bileşenlerden bir tanesi asimtotik devler koluna evrimleşmiş olsa bile, sıcak bileşenin konumuna uygun olan izokron dikkate alındığında daima olması gerekenden daha soğuk ve daha söntüktür. Benzer bir biçimde, henüz anakolun hemen sonrasındaki evrim aşamasında dahi, daha ileri evrim aşamasındaki bileşen beklenenden söntük ve soğuktur. Yüzey etkin sıcaklığına bakıldığında, asimtotik devler kolunda olduğu halde, daha az kütleli bileşene göre daha söntük olan sistemlere bir örnek olarak Şekil 6'da gösterilen BH CVn verilebilir.



Şekil 6: BH CVn sisteminin bileşenlerinin izokron setleri üzerindeki konumları

RS CVn sistemleri arasında bazılarının soğuk bileşenin beklenenden sönük olduğuna Popper ve Ulrich [5] çalışmasında da dikkat çekilmiştir. Bu durumun bir muhtemel sebebi, bileşenler arasındaki kütle transferi olabilir.

Çift yıldızların evrim modellerinde ([9], [10]) tasvir edilmiştir ki, evrimde ileri bileşen, yörünge ve yörünge boyutları uygun olduğunda, Roche lobunu doldurduğu takdirde daha az kütleli bileşene kütle aktarmaya başlar. Yine yörünge dinamiklerinden ([11], [12]) biliyoruz ki büyük kütleli bileşen küçük kütleli bileşene kütle aktardığında, yörünge dolanım periyodu kısalır. Bu da yörünge, dolayısıyla Roche lolarının boyutlarının küçülmesi anlamına gelir. Yıldızın evrimleştikçe yarıçapının büyümesi ve kütle aktarımı nedeniyle Roche lobunun giderek küçülmesi, sistemdeki kütle aktarımını hızlandırır. Yani bu ilk kütle aktarım evresi çok hızlı gerçekleşir. Kısa sürede her iki bileşenin kütlesi eşitlenir ve bundan sonra kütle aktarımı devam ederse, yörünge periyodu büyür. Yörünge periyodunun büyümesi aynı zamanda yörünge boyutlarının ve bileşenlerin Roche loblarının büyümesi anlamına gelir. Evrimde ileri durumda bulunan bileşenin içinde olduğu Roche lobunun büyümesi ile kütle aktarımı sona erer. Sistemin evrimleştikçe yarıçapının artması ile Roche lobunu yeniden doldurması durumuna kadar bir kütle transferi söz konusu olmaz. Bu yüzden, kütlelerin eşitlenmesinden sonraki aşamada küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene kütle aktarımı çok daha yavaş gerçekleşir. Kütle transferinin devam etmesine bağlı olarak evrimde ileri bileşen daha küçük kütleli hale gelebilir. Karşılaştırma bakımından, Tablo 5'te kütle aktarımı komplikasyonu gösterdiği düşünülen sistemlerin sıcaklık, yarıçap, parlaklık ve kütleleri listelenmiştir.

Tablo 5: Kütle aktarımı komplikasyonu gösterdiği düşünülen sistemler ve parametreleri

Sistemin No	Sistemin Adı	HD numarası	Tayf Türü	P dolanma (gün)	T _{eff}	R	M _v	Kütle
					sıcak/soğuk °K	sıcak/soğuk R _☉	sıcak/soğuk	sıcak/soğuk M _☉
1	CF Tuc	5303	G0V-IV+K4V-IV	2.798	5900/4500	1.53/4.29	3.34/4.03	1.03/1.17
2	UX Ari	21242	K0IV+G5V	6.437	5678/5048	1.11/5.78	4.32/3.3	1.1/0.95
3	V711 Tau	22468	K1IV+G5IV	2.838	5400/4800	1.76/3.8	3.764/4.89	1.14/1.45
4	RZ Cnc	73343	K1III+K4III	21.643	4600/4365	10.2/12.2	2.03/1.97	3.20/0.54
5	RS CVn	114519	F4IV+G9IV	4.798	6700/4836	1.99/4	3.49/3.56	1.37/1.44
6	BH CVn	118216	F2IV+K2IV	2.613	6938/4660	3.1/3.27	1.897/3.644	1.05/0.42
7	MS Ser	143313	K2IV-III+G8V	9.015	5500/4600	1/3.5	3.78/5.06	0.86/0.71
8	WW Dra	150708	G2IV+K0IV	4.630	5880/4650	2.3/3.9	3.31/4.13	1.36/1.34
9	RS UMi		G0+G-K	6.169	5940/4420	1.78/3.89	2.183/2.088	1.26/1.23
10	RW UMa		F9V+K1IV	7.328	5950/4400	2.31/4.24	2.49/3.59	1.56/1.49
11	CF Tau	284137	G0	2.756	5660/4590	1.56/2.38	4.10*/4.48*	1.11/?

Bu sistemler incelendiğinde, tamamında soğuk bileşenin daha büyük yarıçapa sahip olduğu görülmektedir. Bir çoğunda, soğuk bileşen diğerinden daha sönüktür. Bu sistemlerin bileşenleri izokron setlerinde işaretlendiğinde, hepsinde evrimsel olarak daha ileri aşamadaki yıldızın izokrona göre beklenenden daha sönük olduğu gözlenmektedir. Bu tez çalışmasında, bahsedilen bu özellikler kütle aktarımı komplikasyonu olarak nitelendirilmiştir. Kütle aktaran bileşen üst katmanlarını yeterince kaybedince merkezindeki basınç ve sıcaklık azalır. Basınç ve sıcaklığın azalması ile birlikte enerji üretimi de azalır. Azalan enerji üretimi, bu bileşenin ışınım gücünün küçük olmasına neden olur.

Ancak, etki bu kadarla da sınırlı değildir. Üstüne kütle alan bileşen, kütle artması sebebi ile, tıpkı anakoldaki daha kütleli sistemlerin merkezi basınç ve sıcaklıklarının da

yüksek olması gibi, daha yüksek merkezi basınç ve sıcaklık değerlerine sahip olur. Artan iç basınç ve sıcaklık, enerji üretimini ve dolayısıyla kütle alan bileşenin ışınım gücünü artırır.

Kısaca özetlersek, kütle transferi başlayana kadar, tek yıldız gibi evrimleşen bileşenler, sistemin yaşını temsil eden izokron üzerinde oldukları halde, kütle transferinin başlaması ile birlikte değişen ışınım güçlerine göre diyagramda birden bire yer değiştirirler. Bunun sonucunda, evrimde ileri yıldız daha sönük, geri olan yıldız ise daha parlak hale gelir ve izokron setleri üzerinde sistemin yaşını temsil edecek uygun bir izokron bulmak imkansız olur.

Bu sistemlerden UX Ari, RZ Cnc ve BH CVn ile ilgili ışık eğrisi analizi çalışmalarından sistemlerin kütle aktardığı tespit edilmiştir. UX Ari için Huenemoerder ve ark. [13], RZ Cnc için Olson [14] ve Cester ve ark. [15], BH CVn için ise Schrijver ve Zwaan [16] çalışmalarında kütle transferinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca CF Tuc için Andres ve ark. [17], V711 Tau için Frasca ve Lanza [18] ve RS UMi için Popper [19], sistemin dolanma dönemlerinde bir değişimin söz konusu olduğunu kaydetmişlerdir. Bu çalışmalar, kütle aktarım komplikasyonu gösterdiğini düşündüğümüz sistemler için elde ettiğimiz bulguları destekler niteliktedir.

Bu şekilde kütle aktarımı komplikasyonu gösteren sistemlerin standart izokronlardan ya da evrim çizgilerinden yaşlarını bulabilmek mümkün değildir. Bu tür sistemlerin yaşlarının ancak ve ancak sisteme özel olarak hesaplanmış evrim modelleri ile hesaplanması mümkün olabilir. Bu özel evrim modellerinde, sistemin periyodu, boyutu ve dolayısıyla aktarılan kütle miktarına göre sistemde meydana gelecek değişiklikler ve bu değişikliklere bağlı olarak H-R diyagramındaki konumu teorik olarak belirlenir. Sistemin gözlenen değerlerine göre bu özel evrim çizgileri kullanıldığında bu sistemin yaşı belirlenebilir.

Kütle transferi aşamasından geçmiş sistemlerin izokronlar yardımıyla yaşını belirlemek mümkün olmasa da, bu tür sistemleri belirlemek için izokronlar kullanılabilir.

4. Sonuç

Orijinleri aynı, yani açık ve küresel küme yıldızları gibi, yıldızlar arası ortamda aynı gaz ve toz bulutundan aynı zamanda oluşmuş sistemlerin yaşını bulmakta kullanılan, izokronlar ile yaş belirleme tekniği, aktif kromosferli çift (CAB) yıldızlara başarı ile uygulanmıştır. 10 tane CAB sisteminin yaşı %10 görel belirsizlikten daha iyi olacak şekilde belirlenebilmiştir.

İzokronlar ile yaş belirleme tekniği, çift yıldız bileşenlerinin geçmişte aynı zamanda ve aynı gaz ve toz bulutundan oluşması varsayımına dayanmaktadır. İhtimal olarak çok küçük de olsa, galaksimiz içinde, yıldız çarpışmaları sonucu, farklı orijindeki iki farklı yıldız bir çift yıldız oluşturabilir. Bu ihtimali teorik olarak hesaplamak mümkündür ancak, bu hesaplama bu tezin amacının dışındadır. Böyle çift yıldız sistemlerinden izokronlar ile yaş belirlenemez. Çünkü, kütlesi ve kimyasal kompozisyonu farklı iki yıldızın aynı yaşta olması halinde bile tek bir izokron üzerine oturması mümkün değildir.

Aynı orijinden gelme ve aynı yaşta olma ön şartı, izokronların doğru sonuç vermesi için yeterli değildir. Doğru yaş bulmanın ikinci ön şartı da, çift yıldız bileşenlerinin, yakın çift yıldızlarda sıkça görülebilen kütle aktarımı aşamasından geçmemiş olmasıdır. Bunun nedeni, izokronların tek yıldız evrim modellerine uygun olarak hesaplanan evrim yollarından elde edilmiş olmasıdır. Bu durumda, sistemin her bir bileşeni tek yıldız gibi evrimleşmelidir ki, izokronlardan sistem için bir yaş belirlenebilsin. Çift yıldız evriminin herhangi bir aşamasında bileşenlerden birinin diğerinin üzerine kütle aktarması, kütle kaybeden ve kütle kazanan her iki bileşenin de H-R diyagramındaki konumunun değişmesine yol açar. Kütlelerin değişmesi, yıldızın iç yapısını değiştirecek, bu da doğrudan çekirdek içindeki enerji üretimini ve ışınım gücünün değişimine sebep olacak ve dolayısıyla bileşenlerin diyagram üzerindeki konumları, sistemin yaşını veren izokronlardan farklı olacaktır.

Bütün bu şartlar sağlansa bile, izokronlar ile yaş belirleme tekniğinin doğru sonuç vermesi, bileşenlerin parlaklık oranlarının ve etkin sıcaklık veya renklerinin doğru belirlenmiş olmasına da bağlıdır. Bileşenlerin H-R diyagramı üzerindeki konumuna bağlı belirsizlikler, doğru yaş izokronunun bulunmasını zorlaştırabilir. Bu da yaş izokronundaki belirsizlik anlamına gelir. Her bir bileşenin konumundaki belirsizlikler, doğrudan izokron yaşındaki belirsizliklere yansımaz. Tek bir yıldız için yaşta büyük hata getiren belirsizliğe sahip çift yıldız bileşenleri, tek bir izokron çizgisi üzerine oturuyorsa, yaştaki belirsizlik büyük oranda azalabilir. Bu çalışmada elde edilen izokron yaşlarındaki belirsizlikler, her bir bileşenin diyagram üzerindeki konumuna ait belirsizlikten değil, bileşenlerin yaş izokronundan sapmalarına göre belirlenmiştir.

Çift yıldız bileşenlerinin kütle farkı büyük ise, kütleli bileşen değerine göre çok daha hızlı evrimleşecektir. Bu durumda, bileşenler arasındaki parlaklık farkı, sönmük yıldızın sistemin toplam parlaklığına katkısının hesaplanabilmesine olanak vermeyecek kadar büyük olabilir. Sönmük yıldızı görülemeyen bu tür çift yıldızlar tablolarda SB1 sembolü ile işaretlenmiştir.

SB1 sistemler kütle aktarımı aşamasından geçmemiş ise, sistemin görünen bileşeni tek yıldız gibi düşünülebilir. Ancak bu halde, bu yıldızın konumundaki belirsizlik, doğrudan izokron yaşındaki belirsizliğe etki eder. Bununla beraber, yıldız anakol ya da asimtotik devler kolu gibi, izokronların kalabalık ve sıkışık olduğu bir bölgeye düşerse, elde edilen yaştaki belirsizlik çok daha büyük olmaktadır. Bu nedenle SB1 sistemlerin izokron yaşları, her iki bileşeni de görülebilen SB2 sistemlerinin yaşlarına oranla daha büyük hatalar içermektedir.

SB1'lerde yalnızca tek bir bileşenin görünüyorsa, sistemin kütle aktarım evresinden geçip geçmediğini belirlememizi olanaksız kılar. Bu da, yıldızın mutlak parlaklık ve sıcaklığındaki belirsizliklere ek bir belirsizlik oluşturur. Bu etkiler göz önüne alındığında, tek bir bileşeni görülen sistemlerin izokronlardan elde edilen yaşı, herhangi bir sisteme üye olmayan tek bir yıldız için elde edilen yaştan daha belirsizdir.

Elde edilen yaşların doğruluğunun test edilmesi bakımından, izokronlar yardımı ile yaşların en küçük belirsizliklerle hesapladığımız 10 sistem için Tablo 12'de bir karşılaştırma yapılmıştır. Tabloda, sistemlerin izokron yaşlarının yanı sıra, Barrado ve ark. ([20], [21], [22]) çalışmalarında lityum bolluk analizlerinden elde edilen yaşlar verilmiştir.

Tablo 6: Yaşı iyi belirlenen sistemler için elde edilen sonuçların karşılaştırması

Sistemin No	HD Adı	HD numarası	Tayf Türü	P dolanma (gün)	izokron Yaşı	Relatif Belirsizlik	Lityum yaşları			
							Sıcak	Belirsizlik	Soğuk	Belirsizlik
1	V965 Sco	158393	K0III+F2IV	30.969	$1.26 \cdot 10^9$	1.56				
2	RT CrB	139588	G5V+K0V	5.117	$3.38 \cdot 10^9$	1.62	$3.69 \cdot 10^9$	13.12	$2.86 \cdot 10^9$	6.46 ⁽¹⁾
3	DQ Leo	102509	A7IV+G7III	71.691	$5.91 \cdot 10^8$	2.2	-		$9.39 \cdot 10^8$... ⁽³⁾
4	SZ Psc	219113	K1IV+F8V	3.965	$3.98 \cdot 10^9$	3.17	$3.13 \cdot 10^9$	69.55	$2.24 \cdot 10^9$	18.89 ^(1,2)
5	LX Per		F8V+G8IV-V	8.038	$7.94 \cdot 10^9$	5.17				
6	Z Her	163930	K0IV+F5	3.993	$3.98 \cdot 10^9$	5.17	$1.03 \cdot 10^9$	33.17	$4.73 \cdot 10^9$	7.14 ^(1,2)
7	AE Lyn	65626	F8IV-V + G5IV	11.068	$2.19 \cdot 10^9$	5.39	$2.11 \cdot 10^9$	10.57	$2.02 \cdot 10^9$	13.08 ^(1,2)
8	VV Mon		K0IV+G2IV	6.051	$2.77 \cdot 10^9$	5.99	$2.47 \cdot 10^9$	50.20	$2.81 \cdot 10^9$	20.71 ⁽¹⁾
9	CQ Aur	250810	F5V+K1IV	10.623	$6.31 \cdot 10^9$	7.77	$1.16 \cdot 10^9$	13.61	$1.03 \cdot 10^9$	73.44 ⁽¹⁾
10	Alf. Aur	34029	G1III+K0III	104.023	$5.27 \cdot 10^8$	7.97	$4.65 \cdot 10^8$	8.39	$5.38 \cdot 10^8$	14.13 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Barrado et al. (1994) [20], ⁽²⁾Barrado et al. (1997) [21], ⁽³⁾Barrado et al. (1998) [22]

V965 Sco ve LX Per sistemleri, Barrado'nun çalışmalarında yer almadığından, karşılaştırma yapma imkanı yoktur. Barrado'nun elde ettiği yaşlar için verdiği hata sınırları

dikkate alındığında, RT CrB, Sz Psc, Z Her, VV Mon ve Alfa Aur için önerdiği Li yaşları ile izokron yaşları, belirsizlik sınırları içinde, birbirlerini doğrular niteliktedir.

Barrado ve arkadaşları, çalışmalarında DQ Leo sistemi için herhangi bir belirsizlik önermemiştir. Griffin ve Griffin [23], DQ Leo sisteminin 71 günlük dolanma dönemine sahip olduğunu belirlemiş ve sistemin radyal hızlarının analizinden elde ettikleri sonuçlara göre sıcak bileşenin kütlesini $2 M_{\odot}$ ve soğuk bileşenin kütlesini ise $2.1 M_{\odot}$ olarak vermişlerdir. Ayrıca sistemlerin tayf türlerini de A7IV ve G7III olarak belirlemişlerdir. Schaller ve ark. [7], yıldızların teorik evrim yollarını hesapladıkları çalışmalarında, $2 M_{\odot}$ kütleli bir yıldızın anakoldan ayrılma yaşının 850 milyon yıl olduğunu belirtmişlerdir. Schaller ve arkadaşlarının verdiği bu değer, hatalar dikkate alındığında DQ Leo sistemi için bu çalışmada elde edilen yaş ile uyumludur.

Tablo 6'da CQ Aur için elde edilen yaşlar karşılaştırıldığında, iki yöntemle elde edilen yaşların çok farklı olduğu görülecektir. Hazırlamakta olduğumuz CAB katalogunda, bu sistem için var olan veriler, sistemin tutulma gösterdiğini ancak fotometrik çalışmalarının yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Sistem, $9^m.05$ gibi sönük bir görünen parlaklığa sahiptir. Sistemin sönük olması ve çalışmalarının yetersiz olması, parametrelerin hatalı ölçülmesine neden olabilir. Öte yandan, Hipparcos paralaksına göre uzaklığı, 242 ± 82.6 parsektir ([24]), yani sistem nispeten uzaktır. Uzaklıktaki hataya ek olarak, bir de yıldızlar arası ortamdan kaynaklanan kızarma etkisi düşünüldüğünde, CQ Aur'un bileşenlerinin diyagram üzerindeki konumlarının hatalı olma ihtimali yüksektir. Bu nedenle de sistemin izokron yaşı belirsizdir.

Popper [19], CQ Aur sistemi hakkındaki çalışmasında, yıldızlar arası ortamdan kaynaklanan kızarmayı dikkate almamış ve sıcak ve soğuk bileşenlerin kütlelerini sırasıyla $1.63 M_{\odot}$ ve $2 M_{\odot}$ olarak vermiştir. Schaller ve ark. [7]'nin hesaplamalarına göre, $2 M_{\odot}$ kütleli bir yıldızın bütün yaşam süresi, 1 milyar yıl civarındadır. Buna göre CQ Aur sisteminin 6 milyar yıl civarında bir yaşa sahip olması imkansızdır. Bu sistem için yaşın hatalı bulunması, izokronlarla yaş belirleme yönteminin bir eksikliğinden kaynaklanmamaktadır.

CAB sistemleri üzerinde yapılan uygulamalar, izokronlar yardımıyla yaş belirleme tekniğinin kümeler için olduğu kadar çift yıldız sistemleri için de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu yöntemle bir çift yıldız sisteminin yaşının doğru ve duyarlı belirlenebilmesi için,

1. Kütleleri farklı her iki bileşen, aynı kimyasal kompozisyon ve aynı yaşta olmalıdır (Günümüzde genel kabul gören düşünceye göre, birbirine çekimsel olarak bağlı olan sistemler aynı yaşta ve aynı kimyasal kompozisyondadır).
2. Bileşenler ayrık ve kütle aktarım aşamasından geçmemiş olmalıdır.
3. Her iki bileşenin de H-R diyagramı üzerindeki konumları doğru belirlenmiş olmalıdır.
4. Bileşenler, izokronların kalabalık olduğu, yaşın belirlenmesine uygun olmayan bölgelere düşmemelidir.

Bunların yanı sıra bu yöntemin, anakol sonrası evrim aşamasındaki yıldızlar için daha iyi çalıştığı açıkça görülmektedir. Çünkü, anakol üzerinde izokronlar birbirine çok yakındır. Bu durum, gözlemsel hatalar dikkate alındığında sistemin yaşının duyarlı olarak belirlenmesini engellemektedir.

Sonuç olarak, izokronlar yardımıyla yaş belirleme tekniği CAB sistemleri üzerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Her iki bileşenin parametreleri bilinen 37 CAB sisteminin yaşları ve kimyasal kompozisyonları belirlenmiştir. Bunların yanı sıra, tek bir bileşenin parametreleri bilinen CAB sistemleri de tek yıldız gibi kabul edilmiş ve buna göre 85 tanesi için yaş belirlenmiştir. Her iki bileşeni bilinen sistemlerden 11 tanesinin kütle transferinden kaynaklanan komplikasyonlar gösterdiği belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Hall, D.S. 1976, "The RS CVn binaries and binaries with similar properties", *mpvs. Coll.* 287.
- [2] Bopp B.W., Fekel F.C. 1977, "Binary incidence among the BY Draconis variables", *AJ*, 82, 490.
- [3] Strassmeier, K. G., Hall, D. S., Zeilik, M., Nelson, E., Eker, Z., Fekel, F.C. 1988, "A catalog of chromospherically active binary stars", *A&AS*, 72, 291.
- [4] Strassmeier, K. G., Hall, D. S., Fekel, F. C., Scheck, M. 1993, "A catalog of chromospherically active binary stars (second edition)", *A&AS*, 100, 173.
- [5] Popper, D. M., Ulrich, R. K. 1977, "The evolutionary status of RS CVn binaries", *ApJ*, 212L,131.
- [6] Maeder, A., Meynet, G. 1991, "Tables of isochrones computed from stellar models with mass loss and overshooting", *A&AS*, 89, 451.
- [7] Schaller, G, Schaerer, D., Meynet, G., Maeder, A. 1992, "New grids of stellar models from 0.8 to 120 solar masses at $Z=0.02$ to $Z=0.001$ ", *A&AS*, 96, 269.
- [8] Nordstrom, B., Mayor, M., Andersen, J., Holmberg, J., Pont, F., Jorgensen, B.R., Olsen, E. H., Udry, S., Mowlavi, N. 2004, "The Geneva-Copenhagen survey of solar neighbourhood ages, metallicities and kinematic properties of ~ 14000 F and G dwarfs", *A&A*, 418, 989.
- [9] Kopal, Z. 1959, "Semi-detached binaries and stellar evolution", *ASPL*, 8,81.
- [10] de Loore, C. 1981, "Mass exchange on close binary stars and the effect on stellar evolution", *IAUS*, 93, 136.
- [11] Demircan, O., Eker, Z., Karatas, Y., Bilir, S., 2006, "Mass loss and orbital period decrease in detached chromospherically active binaries", *MNRAS*, 366, 1511.
- [12] Eker, Z., Demircan, O., Bilir, S., Karatas, Y. 2006, "Evidences on secular dynamical evolution of detached active binary orbits and contact binary formation", *MNRAS*, in press.
- [13] Huenemoerder, D. P., Buzasi, D. L., Ramsey, L. W., 1989, "Fiber optic echelle CCD spectral monitoring of UX ARIETIS", *AJ*, 98, 1398.
- [14] Olson, E. C. 1989, "Photometry of long-period Algol binaries. VI - Multicolor photometric solutions for RZ CANCRI", *AJ*, 98, 1002.
- [15] Cester, B. et al. 1977, "Revised photometric elements of 12 semidetached systems", *A&A*, 61, 469.
- [16] Schrijver, C. J., Zwaan, C. 1991, "Activity in tidally interacting binaries", *A&A*, 251, 183.
- [17] Anders, G. J., Coates, D. W., Thompson, K., Innis, J. L. 1999, "Observations of active-chromosphere stars - V. A photometric study of the RS CVn system CF Tuc (HD 5303)", *MNRAS*, 310, 377.
- [18] Frasca, A., Lanza, A. 2005, "Orbital period variation in close binaries from radial velocity data and magnetic activity cycles. II. HR 1099", *A&A*, 429, 309.
- [19] Popper, D. M. 1990, *A.J.*, 100, 247.
- [20] Barrado, D., Fernandez-Figueroa, M. J., Montesinos, B., De Castro, E. 1994, "The age-mass relation for chromospherically active binaries. II Lithium Depletion in dwarf components", *A&A*, 290, 137.
- [21] Barrado, D., Fernandez-Figueroa, M. J., Garcia-Lopez, R. J., De Castro, E., Cornide, M. 1997, "The age-mass relation for chromospherically active binaries. I The evolutionary status", *A&A*, 326, 780.
- [22] Barrado, D., De Castro, E., Fernandez-Figueroa, M. J., Cornide, M., Garcia-Lopez, R. J. 1998, "The age-mass relation for chromospherically active binaries. II Lithium Depletion in giant components", *A&A*, 337, 739.
- [23] Griffin, R. E. M., Griffin, R.M. 2004, *MNRAS*, 350, 685
- [24] ESA, 1997, Hipparcos and Tycho Catalogues, *ESA SP-1200*.