

AYRIK AKTİF YILDIZLARIN YÖRÜNGE EVRİMLERİ VE W UMa YILDIZLARININ OLUŞUMU

Zeki EKER¹, Osman DEMİRCAN¹, Selçuk BİLİR², Yüksel KARATAŞ²

Özet

237 tane Aktif Kromosferli Çift Yıldızın (CAB) ve 129 tane W UMa yıldızının kinematikleri çalışılmış, çift yıldız yörüngelerinin dinamik evrimi ile ilgili kanıtlar araştırılmıştır. Yörüngelerin, açısal momentum kaybı nedeni ile küçüldüğünün kanıtları, toplam kütle ($M = M_1 + M_2$) ve yörünge periyodu (P) histogramları ile ortaya konmuştur. Bir başka kanıt da küçük periyotlu sistemlerin daha yaşlı olmalarıdır. W UMa sistemleri, CAB sistemlerinden ortalama olarak 1.62 Gyr daha yaşlı bulunmuş ve bu yaş farkı değme döneminin ortalama ömrü olarak yorumlanmıştır. Kütle transferinden etkilenmeyen 62 ayrıklı alan CAB sistemi seçilmiş ve bunlardan yörünge açısal momentum kaybı (OAM), kütle kaybı ve periyot azalması katsayıları $d\dot{J}/J = -3.48 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $d\dot{M}/M = -1.30 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $d\dot{P}/P = -3.96 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, bir ilk yaklaşım sonucu ortalama değerler olarak belirlenmiştir. $d \log J / d \log M$ oranının 2.68 olması, örnek içindeki yıldızlarda ortalama olarak açısal momentum kaybının, izotropik kütle kaybının sebep olduğu J kaybına göre 2.68 katı oranında amplifiye edildiğini gösterir. Dinamik evrim parametresi olarak adlandırdığımız ($\delta=2.68$) bu birimsiz parametrenin farklı değerleri yörüngelerin dinamik evriminin farklı modlarını ve farklı hızlarını ortaya koyar. $\delta=2.68$ e karşılık gelen dinamik evrim, $\log J - \log P$, $\log M - \log P$ ve $\log J - \log M$ diyagramlarında incelenmiş ve mevcut CAB sistemlerinin %10, %22 ve %39 kadarının gelecek 2, 4 ve 6 Gyr içinde W UMa türü kontak sisteme dönüşecekleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kinematik, Aktif Çift yıldızlar, çift yıldız evrimi, dinamik evrim, manyetik aktivite.

Abstract

Kinematics of 237 Chromospherically Active Binary (CAB) and 129 W UMa stars were studied and evidence of orbital dynamical evolution investigated. Proofs of shrinking orbits due to orbital angular momentum (OAM) loss associated with mass loss have been presented using systemic mass and period histograms. Another verification revealed by the older ages of shorter period systems. W UMa systems had been found 1.62 Gyr older than the CAB systems. This age difference was interpreted as mean lifetime of the contact stage. 62 field CAB, which are free from mass transfer, were selected and sub groups were formed according to OAM ranges. Using the kinematical ages of these sub groups, mean OAM loss, mass loss and orbital period decrease $d\dot{J}/J = -3.48 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $d\dot{M}/M = -1.30 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $d\dot{P}/P = -3.96 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, have been determined in the first approximation. The ratio of $d \log J / d \log M = 2.68$ implies that either there are external causes which increase the systemic AM loss or there is

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 17100, Çanakkale
Tel: 286-218 00 18, Faks: 286-218 05 33, e-posta: {eker, demircan @comu.edu.tr}

² İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt-İstanbul
Tel: 212-440 00 00, Faks: 212-440 03 70, e-posta: {sbilir, karatas @istanbul.edu.tr}

amplification mechanism which amplifies AM loss due to stellar winds. The different values of the dynamical parameter $\delta = d \log J / d \log M$ determines the direction and the speed of the dynamical evolution. The dynamical evolution with $\delta = 2.68$ have been studied on the $\log J - \log P$, $\log M - \log P$, $\log J - \log M$ diagrams and it has been found that 11%, 23% and 39% of the current CAB stars would be transformed to contact binaries within the next 2, 4, and 6 Gyrs.

Key word: *Kinematics, chromospheric activity, binaries, binary evolution, dynamical evolution.*

1.Giriş

Değen yıldızların gözlemsel verileri ve teorileri detaylı olarak Mohnachi [1], Vilhu [2] ve Rucinski [3] tarafından gözden geçirilip özetlenmiştir. Değen çift yıldız oluşumunu öngören en gözde modellere göre bu oluşum, ayrık ama yakın, senkron dönmeli olan yakın çift yıldızlarındaki açısal momentum kaybı (AML) ve bu kaybın sebep olduğu yörüngenin küçülmesi ile ilgilidir [4]. Manyetik frenleme [5-7] sebebi ile açısal momentum kaybı, tek yıldızların, dönmelerinin yavaşladığı belgeleyen Skumanich [8] den sonra, konuya ilgi katlanarak artmıştır. Manyetik frenleme ve çekimsel kilitlenme başlangıçta ayrık olan çift yıldızlardan W UMa oluşumunun en temel nedenlerinden sayılmaktadır [9-17].

Yörünge evrimi, ayrık çift yıldızlardan W UMa oluşumu farklı farklı öngörülmüş, farklı farklı anlatılmıştır. Ancak, çekim kilitlenmesi kısa periyotlu sistemlerde çok daha etkili olduğu için, seküler yörünge periyodu azalması başlangıçta yavaş sonradan birden hızlandığı tarzında anlatılmaktadır. Sadece yörünge periyodu birkaç gün mertebesinde olan ayrık çift yıldızların $\sim 10^9$ yıl kadar bir zamanda W UMa gibi değen sistemlere dönüşeceği tahmin edilmektedir.

Küçülen yörüngeler ve ilgili periyot azalmalarının etkilerini maalesef alışı gelmiş tutulma minimum zamanlarından elde edilen standart O-C diyagramlarında görmek mümkün değildir. Çünkü 1) O-C verilerinin seküler periyot azalma skalasına göre çok kısa (yaklaşık 100 yıl) bir zaman aralığını kapsar, 2) düzgün dağılmamış O-C verilerinde büyük saçılmalar vardır, 3) kütle transferi, üçüncü cisim, manyetik çevrim gibi daha karışık daha büyük genlikte değişim oluşturan etkileri vardır [18-20]. Bu nedenle O-C diyagramlarındaki yörünge periyodu azalmaları seküler periyot azalmalarına bir delil olamaz.

Bir parçalanma işlemi (fission process) neticesinde anakol öncesi evrimin sonlarında değen sistemlerin oluşumuna imkan tanıyan W UMa yıldızlarının ayrık çift yıldızlardan oluştuğu teorisine ters düşen bir başka teori daha vardır [21]. Guinan ve Bradstreet [14] in tahminlerine göre oldukça kısa ($0.1 < t_{teğme} < 1$ Gyr) olarak öngörülmüş değme dönemi zaman skalası göz önünde tutulursa, Roxburgh [21] nin öngördüğü bu teori yaşlı ($\sim 7-8$ Gyr) W UMa yıldızlarının varlığını açıklamaktan çok uzaktır. Ancak, sistem açısal momentumunun korunumu durumunda, yaşlı sistemlerin varlığı anlaşılabilir. Açısal momentumun korunumu ise, değen sistemlerin ayrık sistemlerden açısal momentum kaybı sonucunda oluştuğu teorisine ters düşer.

W UMa yıldızlarının oluşumu ile ilgili tartışmalar günümüzde de devam etmektedir. W UMa yıldızlarının çok küçük olan uzay yoğunluğu (Güneş civarındaki yıldızların %0.2 W UMa türündendir [22, 23]) bu sistemlerin ayrık çift yıldızlardan oluştuğu teorisine sanki daha uygun düşmektedir. Çünkü, sınırlı sayıda ayrık çift yıldızlardan açısal momentum kaybı sebebi ile oluşan W UMa ların diğer yıldızlar içindeki oranı küçük olması beklenir. Ancak, çekimsel kilitlenme sadece yörünge periyotları W UMa periyotlarına yakın (~ 1 gün)

sistemlerde etkili olduğu için ve bu sistemlerin sayısının da çok az olması nedeni ile %0.2 lük oran bile oluşuma kaynak yıldızlar göz önüne alındığında, olması gerektiğinden çok fazla olduğunu düşünenler vardır. Bu yüzden Paczynski “değen sistemler sanki yoktan ortaya çıkmış gibidir” (contact binaries appear out of nowhere) demektedir [24]. Bu nedenle, sadece çekim kilitlemesi ve açısal momentum kaybı mekanizması değil, daha başka işleyen mekanizmaların W UMa yıldızlarının bugünkü oranlarında etkili olduğu düşünülmektedir. Aksi takdirde, sadece ~ 1 günlük periyotlu ayrık sistemlerin bugünkü W UMa sayısını oluşturmaya yeterli görülememektedir.

Bu çalışma Aktif Kromosferli Çift Yıldızların (CAB) ve W UMa yıldızların kinematığı ile ilgili çalışmalarımız [25, 26] sırasında farkına vardığımız ayrık çift yıldız yörüngelerinin dinamik evrimi ile ilgili seküler periyot ve kütle azalmasının delillerini bir bütün halinde sunmayı hedeflemektedir. Yörünge dinamiği ile ilgili kısa bir hatırlatmadan sonra üçüncü çalışmamızda [27] belirlediğimiz ortalama dinamik evrim en son çalışmamızda [28] ele aldığımız şekilde $\log J - \log P$, $\log M - \log P$ ve $\log J - \log M$ diyagramları üstünde tasvir edilecektir.

2. Seküler Periyot ve Kütle Azalmasının Gözlemsel Delilleri

Önce, Guinan ve Bradstreet [14] W UMa yıldızlarının Galaktik uzay hızı dispersiyonlarından kinematik yaşlarının 8 – 10 Gyr olduğunu buldular. W UMa ların bu düzeydeki yaşları, muhtemel ön popülasyonu olan RS CVn ve benzeri aktif kromosferli yıldızların kinematik yaşları (~ 5 Gyr) [29] ile karşılaştırılınca, değen yıldızların ayrık yıldızlardan oluştuğu teorisinin tutarlı olduğu söylenebilir. W UMa değen çift yıldızlarının nükleer zaman ölçeği düzeyindeki 8 – 10 Gyr lık yaşları, ya bu yıldızların Roxburgh [21] teorisine göre anakol öncesi değen yıldızlar olarak oluştuğu ve oluşumu sırasındaki orijinal açısal momentumlarını hala korumaları ile ya da açısal momentum kaybı karşısında kararsız olmaları durumunda, ayrık sistemlerden oluşmaları durumunda da açıklanabilir. Aslan ve ark. [30] Hipparcos verilerinden hesapladıkları uzay hız dispersiyonlarından W UMa ların yaşlarını RS CVn yıldızlarından daha küçük bulmuşlar ve W UMa ların RS CVn lerden oluştuğu tezini sorgulamışlardır.

W UMa ve RS CVn türü yıldızların artan sayıları ve gelişmiş duyarlı astrometrik verilerin (paralaks ve öz hareketler) Hipparcos [31] tarafından ölçülmesi, bizleri problemi bir kere daha gözden geçirmemiz için motive etmiştir. Önce, 237 tane uzay hızı hesaplanabilen CAB yıldızı arasından, genç hareketli küme gruplara muhtemel üye CAB yıldızları kinematik kriterlerle tespit edildi, sonra ana örnek genç (95 tane yaşı 0.65 Gyr den küçük) ve yaşlı (142 tane ortalama yaşı 3.86 Gyr) diye iki gruba ayrıldı. Birincisine MG, ikincisine de alan yıldızları adını verildi.

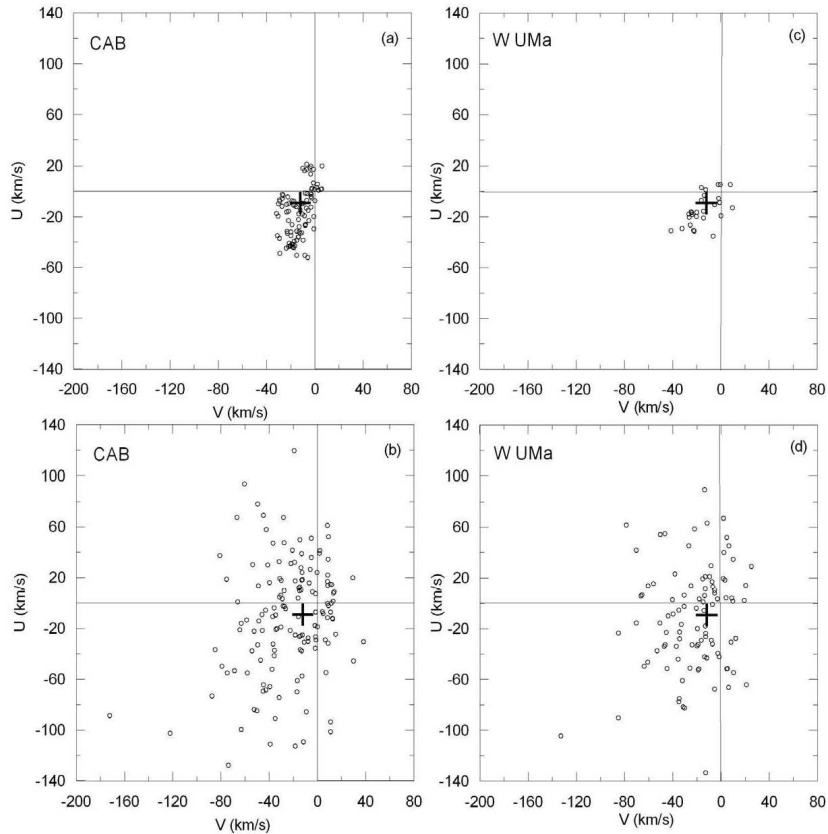
Hareketli gruplar (MG) olarak nitelenen yıldızlar, aynı orijine sahip yıldızlardan oluşur. Eggen [32] Galaksimiz içinde, Güneş civarında, ama kinematik özellikleri bakımından benzerlik gösteren bir süperküme tanımlamıştır. Hareketli gruba üye yıldızlar, küme yıldızları gibi ortak bir uzay hızı vektörüne sahiptir. Yani her bir yıldızın uzay hızları hemen hemen paralel ve aynı büyüklüktedir. Küme yıldızlarından farklı olarak, hareketli grup yıldızları gökyüzünün her tarafında olabilirler. Oysa küme Güneşe göre belli bir doğrultuda, gökyüzünün belli bölgesini işgal eder. Hareketli gruplara üye yıldızları belirlemede kullanılan kinematik kriterler Eggen [33-36] tarafından belirlenmiş ve Montes ve ark. [37, 38] tarafından özetlenmiştir.

Kriterlerin özü şudur: test edilen yıldızların uzay hızı MG grubunu simgeleyen uzay hız vektörüne hem büyüklük hem de yön bakımından aynı olmalıdır. Belli sınırlar içindeki farklıklar sorun olmaz. MG yıldızlarının yaşları, küme yıldızları gibi anakol dönüm noktalarından hesaplanmaktadır. Bu çalışmada dikkate aldığımız MG gruplarının listesi, bu grupları karakterize eden kinematik özelliklerle birlikte Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1: En iyi bilinen hareketli grupların parametreleri

İsim	Yaş (Myr)	(U, V, W) (km/sn)	V_T (km/sn)	Kavuşum noktası ($\alpha^h \delta^o$)
Local Association (Pleiades, α Per, M 34, δ Lyr, NGC 2516, IC 2602)	20 - 150	(-11.6, -21.0, -11.4)	26.5	(5.98, -35.15)
IC 2391 Süperküme	35 - 55	(-20.6, -15.7, -9.1)	27.4	(5.82, -12.44)
Castor MG	200	(-10.7, -8.0, -9.7)	16.5	(4.75, -18.44)
Ursa Major Grup	300	(+14.9, +1.0, -10.7)	18.4	(20.55, -38.10)
Hyades Süperküme	600	(-39.7, -17.7, -2.4)	43.5	(6.40, 6.50)

CAB ve W UMa yıldızlarının U-V diyagramı üstündeki uzay hızı dağılımları Şekil 1 de karşılaştırılmıştır. Daha yaşlı alan yıldızlarının MG yıldızlarına göre çok daha fazla dağıldığına dikkat ediniz. U ve V yıldızların Galaksi içindeki Güneşe göre ölçülmüş, Galaksi merkezine ve Galaksinin döndüğü yöndeki hızlarıdır. Yer darlığı nedeni ile Galaksi düzlemine dik hızlar gösterilmemiştir. Ancak, hesaplarda vardır. Uzay hız dispersiyonlarından alan CAB yıldızlarının 3.86 Gyr, alan W UMa yıldızlarının 5.47 Gyr ortalama kinematik yaşı bulunmuştur. Daha önceki [14, 28] yaşlara göre daha küçük olmasına rağmen, bu yaşlarda W UMa ların ayırık sistemlerden oluştuğu teorisine ters düşmez Hatta CAB ve W UMa lar arasındaki yaş farkı (1.61 Gyr) değme döneminin ortalama ömrü olarak yorumlanmıştır [26].



Şekil 1: CAB (sol) ve W UMa (sağ), muhtemel hareketli grup (MG) üyeleri (üst) örnek içinden seçilmiş, geriye kalanlara alan yıldızları (alt) adı verilmiştir.

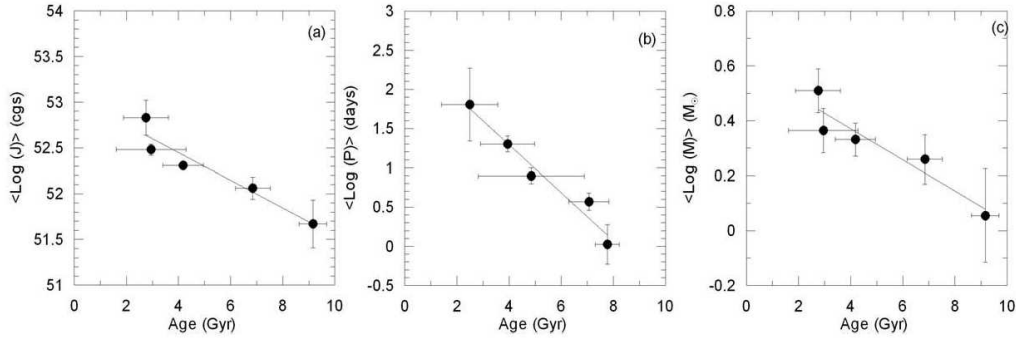
Kinematik kriterlerle oluşturulan alt grupların olması, genç ve yaşlı olan grupların periyot, toplam kütle ve bazı fiziksel parametrelerin histogramlarını karşılaştırma, böylece seküler yörünge açısal momentumu kaybının etkilerini araştırma imkanı sağlamıştır. Ancak, MG gruplarındaki yıldızlar kinematik kriterlerle seçildiği için bu gerçekten herhangi bir MG nin uzay hızına denk düşmesiyle yanlış tanımlamalar olabilir. Bizler bu türden yanlış tanımlanmış yıldızların sayısının istatistikleri bozmayacak kadar az olduğunu düşünüyoruz çünkü açısal momentum kaybı kaynaklı seküler değişimlerin izleri istatistik verilerde rahatça görünmektedir.

Alan CAB sistemlerinden çok genç olan MG CAB sistemlerinin histogramları (dağılım fonksiyonları) ilk orijinal dağılımlarını temsil ettiğini düşünebiliriz. Bu varsayımdan sonra hemen görülmektedir ki, MG lerde düzgün olan periyot dağılımı alan yıldızları dağılımında 10 gün civarında bir tepe, daha uzun ve daha kısa periyotlu sistemlerde azalma şeklinde bir dağılıma dönüşmüştür (birinci makalemizdeki [25] Şekil 6) CAB yıldızlarının, genç ve yaşlı kümelerinin periyot dağılımlarını karşılaştıran iki histogram arasındaki bu farkın seküler periyot değişimine delil teşkil ettiğini düşünüyoruz. Çünkü seküler açısal momentum kaybı yörünge periyotlarını azaltır. Bu durumda, 10 günden daha uzun periyotlu sistemlerin rölatif sayısındaki düşme açıkça görülmektedir. Küçülen periyotlar sanki küçük periyotlu sistemlerin sayısında yığılma oluşturacağı kanısını oluşturur. Ancak, dinamik evrime göre periyot azalması, nükleer evrime göre yarıçap büyümesi sebebi ile 10 günden daha kısa periyotlu sistemlerin çoğu degen ve yarı-degen haline getirmiştir ki, bu tür sistemler listemizde yoktur, bu nedenle alan CAB yıldızlarının periyot dağılımları 10 gün civarında tepesi olan bir dağılım şeklini almıştır.

Birinci makalemizin 8 inci şeklinde gösterildiği [25] hali ile periyot dağılımları kadar açık olmasa da, seküler açısal momentum kaybına sebep olan kütle kaybının izleri de göze çarpmaktadır. Bu sefer hem MG, hem alan CAB leri tek tepeli dağılımlar göstermektedir. Tepe noktalarından çok, dağılımların kanatları seküler kütle azalmasını desteklemektedir. Genç gruptaki büyük kütlelere doğru yavaş yavaş olan azalma, alan CAB lerinin histogramında daha hızlı bir azalmaya yani büyük kütleli yıldızların rölatif sayısında azalmaya işaret etmektedir. Tepelerin azalan kütlere doğru olan tarafında ise durum tam tersidir, küçük kütleli sistemlere doğru hızlı azalma, alan CAB lerinde yavaş bir azalmaya değişmiştir. Dev, alt-dev ve anakol yıldızlarından oluşan CAB grubunun heterojen olması, tam degen yarı-degen durumuna gelme, tepe noktalarının ve dağılımın küçük periyotlara doğru olan kanadının yorumunu karmaşık hale getirmektedir. Sadece dev, alt-dev ve anakol yıldızlarından olan karşılaştırmaları ve ilgili yorumları merak edenler birinci makalemize [25] bakabilirler.

Yine birinci [25] makalemizin 5. Tablosunda listelendiği hali ile kinematik yaşların küçük periyotlu sistemlere doğru artması, açısal momentum kaybı nedeni ile yörünge periyotunun seküler azalmasının en açık delilidir. Daha sonraki makalemizde [27], yörünge açısal momentumu, toplam kütle ve yörünge periyotundaki seküler azalmalar zamana karşı azalmalar şeklinde kantitatif hale getirilmiş ve yıllık ortalama azalma oranları belirlenmiştir. 62 tane ayrık olduğu bilinen alan CAB'lerinin yörünge açısal momentumuna göre gruplanmasından sonra bulunan grup yaşları ve grupların ortalama açısal momentum, toplam kütle ve yörünge periyodu değerleri Şekil 2 de gösterilmiştir. J , P ve M nin zamanla azaldığı açıkça görülmektedir. İlk yaklaşım olarak logaritmik skalada değişimler lineer düz çizgilerle temsil edilmiştir. En küçük kareler metodu ile elde edilmiş fit sonuçlarına göre değişimlerin eğimleri sırasıyla $-1.51 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $-1.72 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$ ve $-5.65 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$ dir. Logaritmik skaladaki lineer sabit bir rölatif değişimi ifade eder. Bu durumda ortalama sabit değişim oranları da

sırasıyla $d\dot{J}/J = -3.48 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $d\dot{M}/M = -1.30 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$ ve $d\dot{P}/P = -3.96 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$ dir. Bu değişim oranları Galaksi içinde Güneş civarındaki aktif kromosferli ayırık çift yıldızların dinamik evrimlerini temsil eder.



Şekil 2: Yörünge açısal momentum (J), periyot (P) ve kütle (M) lerin yaşa bağımlı olarak değişimleri.

İkinci makalemizde [26] aynı histogramlar, tablolar ve grafikler W UMa yıldızları için de üretilmiştir. Ancak, CAB ler için yaptığımız yorum ve açıklamaları, benzer hatta daha belirgin değişimlerin göze çarptığı, W UMa verileri hakkında söylemek, deşme dönemi ömrünün (<1 Gyr [14], 1.61 Gyr [26]) ortalama bulunan yaşlardan (3 Gyr dan 9 Gyr kadar) çok çok kısa olması sebebi ile mümkün değildir. MG grup W UMa yıldızları (<0.6 Gyr) daha ilk genç grubun yaşına gelmeden tek yıldızla dönüşeceği sinyalini vermektedir. Alan W UMa yıldızları yörünge periyotlarına göre dört alt sınıfa ayrılmış her grubun ortalama yaşı 3.21, 3.51, 7.14 ve 8.89 Gyr olarak bulunmuştur. MG üyesi W UMa ların sayısı azdır ($\sim 20\%$). Bu durumda, deşme öncesi, ayırık dinamik evrim W UMa lar arasında etkin bir şekilde süregeldiğini söyleyebiliriz. Ancak, bu baskın eğilime ters düşen ($\sim 20\%$) oranında az sayıda MG üyesi W UMa vardır ki, bu W UMa yıldızlarının yaşları, deşme öncesi ayırık dönemlerinin olmadığını, oluşurken daha başta deşen sistemler olarak oluştuğuna işaret etmektedir. Mademki deşme öncesi, ayırık dönem, W UMa yıldızlarının bugünkü yaşlarını belirlemede baskın olarak etkilidir, deşme öncesi dönemin etkileri arındırılmadan, W UMa yıldızlarının açısal momentum, kütle ve periyot histogramları, CAB lerin histogramları gibi yorumlanamaz. Bu nedenle, W UMa ların bu histogram ve tablolarından çıkarabildiğimiz en önemli sonuç dinamik evrimin kontaklık evresinde hızlanarak devam ettiği ve W UMa yıldızlarının ayırık çift yıldızlardan oluştuğu genel görüşün doğruluğu yanından az sayıda ($\sim 20\%$) W UMa nın anakol öncesi evrim sonunda doğrudan deşen yıldızlar olarak oluşmuş W UMa ların da var olduğu gerçeğini bulmamızdır.

3. Çift Yıldız Yörüngelerinin Dinamiği

Çift yıldız yörüngelerinin açısal momentumunu veren en temel bağıntı

$$J = \left(\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \right) a^2 \Omega = \left(\frac{q}{(1+q)^2} \right) M a^2 \Omega, \quad (1)$$

dir. Bağıntıdaki $I = \left(\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \right) a^2 = \left(\frac{q}{(1+q)^2} \right) M a^2 \Omega$ sistemin dönme momenti ve

$\Omega = 2\pi/P$ yörünge dolanım periyodunun sebep olduğu açısal hızdır. Böylece $J = I\Omega$ yörünge açısal momentumu en basit şekliyle ifade edilmiş olur.

Yörünge açısal momentumu (J), yörünge hareketinin devamı için dinamik oluşturur. Bu nedenle, J ve M yörünge periyodu (P) ve büyüklüğünü (a) belirleyen iki temel fiziksel büyüklüklere sahiptir. J ve M 'nin P ve a yı veren bağıntıları

$$P = \frac{(1+q)^6}{q^3} \frac{2\pi}{G^2} \frac{J^3}{M^5}, \quad a = \frac{(1+q)^4}{q^2} \frac{J^2}{M^3} \quad (2)$$

dir. Bu bağıntılardaki q bileşenlerin kütle oranıdır ve $q = m_2/m_1 < 1$ olarak tarif edilir. Kütle oranı bir fiziksel büyüklük değil, J nin tanımı içinde birimsiz yardımcı bir parametredir. Yörünge büyüklüğü $a = a_1 + a_2$ ise, bir bileşenin diğeri etrafındaki yörüngesinin yarı büyük eksen anlamındadır. M de aynı şekilde sistemin toplam kütle $M = M_1 + M_2$ yi ifade eder. Yörünge kararlılığı (yani $dP = 0$, $da = 0$ olması) yörünge açısal momentumu ve toplam kütle, kütle transferi olmaması şartına bağlı ($dq = 0$) olarak değişmemelerine ($dJ = 0$, $dM = 0$) bağlıdır. Eğer kütle transferi yoksa ayrı sistemlerde zaten kütle transferi beklentisi yoktur, açıkça görülmektedir ki yörüngeden açısal momentum kaybı, hem periyodu, hem de yörünge büyüklüğünü azaltır. Buna karşı sistemin kütledeki herhangi bir azalma hem P de, hem de a da büyümeye neden olur. Yukarıdaki bağıntının logaritmik türevleri alındığında

$$\frac{dP}{P} = -3 \frac{1-q}{1+q} \frac{dq}{q} + 3 \frac{dJ}{J} - 5 \frac{dM}{M}, \quad \frac{da}{a} = -2 \frac{1-q}{1+q} \frac{dq}{q} + 2 \frac{dJ}{J} - 3 \frac{dM}{M}, \quad (3)$$

bulunur. Kütle üstel kuvveti, J Nil üstel kuvvetinden büyük olduğu için, herhangi bir değişim durumunda kütledeki değişim daha baskın olmaktadır. Örnek olarak, izotropik kütle kaybını düşünelim. (1) e göre $dJ/J = dM/M$, yani kaybolan kütle beraberinde sistemden açısal momentum götürür. İzotropik olma şartı, kütledeki rölaf azalmanın, açısal momentumdaki rölaf azalma ile aynı olduğunu işaret eder. Bu durumda, (3) denkleminin

$$\frac{dP}{P} = -2 \frac{dJ}{J} = -2 \frac{dM}{M}, \quad \frac{da}{a} = -\frac{dJ}{J} = -\frac{dM}{M}, \quad (4)$$

haline gelir ki, sistemden kütle kaybı (ki bu açısal momentum kaybı demektir), hem yörüngeyi büyütür hem de periyodu uzatır.

Ancak sistemden açısal momentum kaybını arttırabilecek başka etkiler olabilir. Örneğin, gravitasyon dalgalarıyla açısal momentum (AM) kaybı; Galaktik uzayda yakın yıldız geçişleri; Eksentrik yörüngede üçüncü cisim veya yakın çekimsel kilitli sistemlerde olduğu gibi, AM kaybının katlanmasına sebep olan, manyetik alan çizgileri sebebi ile Alfen yarıçapından kaybolan madde olmasıdır. Bütün bu ihtimal ve katkıları göz önüne aldıktan sonra toplam yörünge AM kaybının, kütle kaybına oranına bakmak durumundayız.

$$\delta = \left(\frac{dJ}{J} \right) / \left(\frac{dM}{M} \right), \quad (5)$$

rölaf yörünge AM kaybını, rölaf kütle kaybına oranlayan parametredir ve adına dinamik parametre diyebiliriz; çünkü yörünge J ve M deki değişimlere vereceği dinamik tepki, δ nın değerine bağlıdır. (5) bağıntısını (3) bağıntısı içinde kullanırsak,

$$\frac{dP}{P} = \left(3 - \frac{5}{\delta}\right) \frac{dJ}{J} = (3\delta - 5) \frac{dM}{M}, \quad \frac{da}{a} = \left(2 - \frac{3}{\delta}\right) \frac{dJ}{J} = (2\delta - 3) \frac{dM}{M}, \quad (6)$$

olur. Burada dq/q ihmal edilmiştir. dq/q her bir bileşenin aynı oranda kütle kaybetmesi durumunda zaten sıfırdır. $dq/q \neq 0$ olduğunu düşüsek bile, $(1-q)/(1+q)$ terimi $q \sim 1$ olan CAB sistemleri için çok küçük bir değerdedir. Bu nedenle, kütle oranındaki değişimin ihmal edilmesini ilk yaklaşım olarak kabul edilmiştir.

(6) numaralı denklemden açıkça görülmektedir ki, yörünge periyodunun azalması için, $J > 3/2$ yeterlidir. Eğer $3/2 < \delta < 5/3$ gibi arada bir değer olursa, periyot büyür ama yörünge küçülür. $\delta < 3/2$ durumda hem periyot büyür hem de yörünge. Ayrık CAB yıldızlarının genel durumunu ifade etmek için, üçüncü makalemizde [27] belirlediğimiz ortalama J ve M deki azalmaları kullanabiliriz. Bu durumda

$$\bar{\delta} = \frac{\frac{dJ}{J}}{\frac{dM}{M}} = \frac{\frac{Jdt}{dM}}{\frac{Mdt}{Mdt}} = \frac{-3.48 \times 10^{-10}}{-1.30 \times 10^{-10}} = 2.68 \quad (7)$$

ortalama dinamik parametrenin değeri $\bar{\delta} = 2.68$ dir ve Güneş civarındaki ayırık CAB yıldız yörüngelerinin ortalama dinamik evrimlerini temsil eder.

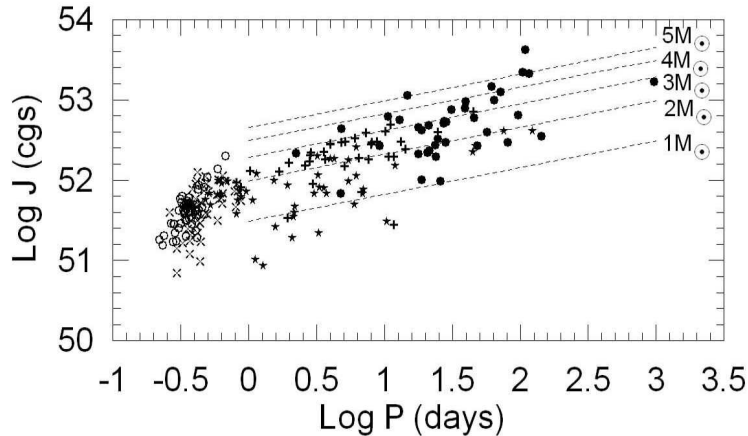
4. Diyagramlar Üstünde Dinamik Evrim

4.1. $\log J - \log P$ Diyagramı

CAB ve W UMa yıldızlarının yörünge açısal momentumları ve periyotları bir $\log J - \log P$ diyagramı üstünde gösterilmiştir (bakınız Şekil 3). CAB yıldızlarının dev, alt-dev ve anakol bileşenli olanları ve A ve W türü W UMa yıldızları farklı sembollerle gösterilmiştir. Genelde daha büyük kütleli ve daha büyük periyotlu CAB sistemleri W UMa dağılımının sağ tarafında sol aşağıda sağ üste tarafa uzanan band şeklinde dağılmışlardır. Şekildeki sabit kütle çizgileri $q = 0.88$ (CAB dağılımının meydan değeridir) alınarak

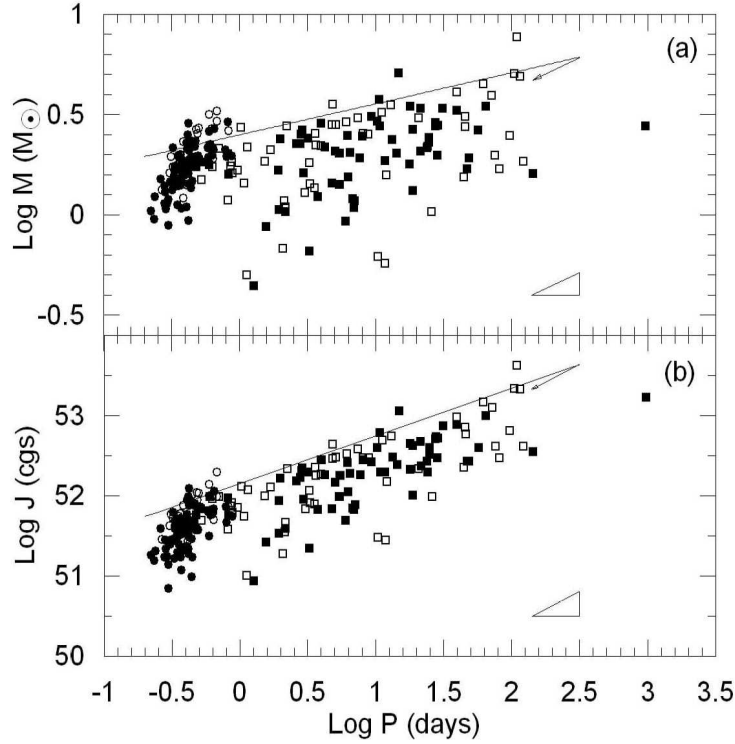
$$J = \frac{q}{(1+q)^2} \sqrt{\frac{G^2}{2\pi} M^5 P} \quad (8)$$

bağıntı ile belirlenen M değeri sabit tutulan P nin değiştirilmesiyle hesaplanmıştır.



Şekil 3: CAB yıldızları: (●) dev, (+) alt-dev ve (★) anakol. W UMa yıldızları: (×) A tipi, (○) W tipi. Sabit kütle ($M = M_1 + M_2$) çizgileri (--) CAB sistemleri için $q = 0.88$ değeri ile hesaplanmıştır.

CAB sistemlerinin dağılımında çok belirgin, düz bir üst sınır çizgisi vardır. Sanki bu çizgi, CAB lerin dinamik evrimine işaret ediyor gibidir. Yörünge AM kaybı, kütle kaybı ve periyot azalması ile CAB sistemleri üst sınıra paralel W UMa bölgesine hareket ediyorlar sonunda W UMa bölgesine girip, degen sistemlerden biri oluyor izlemi göze çarpmaktadır. Ama bu tasvir, $\bar{\delta} = 2.68$ değerine göre olan ortalama dinamik evrim düşünüldüğünde, tam olarak doğru olmadığı anlaşılır. Çünkü ortalama dinamik evrimin yönü Şekil 4b deki $\log J - \log P$ diyagramındaki üst sınırın sağ üstünde gösterilmiştir ve hiç de üst sınıra paralel değildir. Ayrık CAB sistemlerinin ortalama dinamik evrimleri Şekil 4 deki diyagramların sağ alt köşesindeki dik üçgenlerle temsil edilmiştir. Üçgenlerin dik kenarları, ilgili eksenler boyunca olan ortalama azalmaları temsil ederler, böylece dik üçgenlerin hipotenüsleri, diyagram üstünde dinamik evrimin yönünü gösterir. Üst sınırın sağ üstündeki ok ve üçgenlerin boyutu 2 Gyr lık bir zaman dilimindeki ortalama dinamik evrimi temsil etmektedir.



Şekil 4: CAB (\square), W UMa (O); MG (boş) ve alan yıldızları (dolu) semboller ile gösterilmiştir. Ortalama dinamik evrim (ok), 2 Gyr lık ortalama azalma (üçgen).

Şekil 4 deki diyagramlar, genç ve yaşlı sistemleri gösteren iki ayrı sembolle üretilmiştir. Genç (MG grubu yıldızlar) ve yaşlı (alan yıldızları) CAB sistemlerinin dev, alt-dev ve anakol olarak işaretlenen diyagramlarda olduğu gibi belli bölgelerde değil de, bu diyagramda rasgele dağıldıkları açıkça görülmektedir. Genç ve yaşlı CAB sistemlerin böyle rasgele dağılımları, dinamik evrimin rasgele herhangi bir yerde başladığına işaret etmektedir. Yani, bu diyagramlardaki herhangi bir noktada yaşlı veya genç bir sistemin olma olasılığı aynıdır. Bu durumda, H-R diyagramında olduğu gibi belli bölgelerin genç ve belli bölgelerin yaşlı yıldızlara ait olduğunu söylemek $\log J - \log P$ diyagram için mümkün değildir.

4.2. $\log M - \log P$ Diyagramı

$\log M - \log P$ diyagramında, $\log J - \log P$ diyagramına benzer tarzda CAB ve W UMa dağılımları göstermektedir (bakınız Şekil 4a). Önce, $\log M - \log P$ diyagramındaki CAB üst sınırı göz kararı ile sayısallaştırılmış ve sonra bu sınır üstündeki M ve P noktaları, $q = 0.88$

kullanılarak (8) bağıntısına göre J ler hesaplanmıştır. P noktaları ve hesaplanan J noktaları ile Şekil 4b deki üst sınır çizilmiştir. Hesapla bulunan bu yeni çizginin, $\log J - \log P$ diyagramındaki CAB dağılımının üst sınırını belki de daha güzel temsil ettiğinin görülmesi, Şekil 4 deki iki diyagramın üst sınırlarının bağımsız olmadığını açıkça göstermektedir. Bu üst sınır şüphesiz, Şekil 4a'nın ifade ettiği anlamda, belli periyotlardaki sistemlerle ilgili bir kütle üst sınırının olmasıyla ilgilidir. Periyota bağlı olarak bir kütle üst sınırının olmasının sebepleri çok açık değildir. Bu sınır sadece aktiviteyi belirleyen sınır mıdır yoksa oluşumdan kaynaklanan bir kütle üst sınırımıdır henüz belli değildir. Bu sınır oluşumundan kaynaklanmış olabilir çünkü sınırın üstünde yıldız oluşmuyorsa, ilk oluşum sırasında ilk yörünge periyotlarının belirlediği, ilk Roche lobları içindeki madde yoğunluğunun belirlediği bu kütle üst sınırı olabilir. Eğer, sınırın üstünde yıldız oluşuyor ise, bu durumda bu sınırın sadece aktivite – kütle – parlaklık bağıntısı ile belirlendiğini söyleyebiliriz. İlginç olan şudur: neden $\log J - \log P$ üst sınırı sabit kütle çizgilerine paralel değildir?

Eğer dinamik evrim, kütle kaybı olmadan sadece açısal momentum kaybı ve buna bağlı periyot azalması olarak kendini gösterseydi, sistemler sabit kütle çizgilerine paralel olarak sol tarafa gitmeleri gerekmez miydi? Sabit kütle çizgilerine paralel bir dinamik evrimin, CAB sistemlerini boş bölgeye taşıyacağı açıktır. Ancak boş bölgede CAB sistemi yoktur, bu durum CAB dağılımının sağ alt köşesi gibi, seçim etkileriyle açıklanamaz. Bu durumda $\log J - \log P$ diyagramlarından üst sınırın, minimum kütle kaybını temsil eden bir dinamik evrimi temsil ettiği ve $\bar{\delta} = 2.68$ parametreye göre olan ortalama dinamik evrimden farklı olduğu açıktır.

4.3. $\log J - \log M$ Diyagramı

Madem J ve M yörünge boyutunu ve periyotunu belirleyen temel fiziksel büyüklüklerdir, hem madem J ve M deki değişimler, doğrudan yörünge parametreleri etkiler, $\log J - \log M$ diyagramı, çift yıldız yörüngelerinin dinamik evrimlerinin resmedilmesi gösterilmesi veya çalışılması için en uygun diyagram olmalıdır. Bu sebeplerle $\log J - \log M$ diyagramını (Şekil 5) ilk oluşturduğumuzda, dikkatimizi ilk çeken çok önemli bir özellik, CAB ve W UMa ların diyagramda çok belirgin bir şekilde ayrılmış olmasıdır. CAB ve W UMa ları ayıran sınır o kadar belirgindir ki, dağılımlar birbirlerine çok yakın olmasına rağmen, sınırın yanlış tarafında olan sadece iki sistem (OO Aql ve δ Cap) vardır. Bu sistemlerin diyagram üstünde yanlış yerde olmalarının iki sebebi olabilir, ya bu sistemlerin gözlemlerden elde edilen parametreleri hatalıdır veya değdiği halde ayrık, ayrık olduğu halde değen olarak belirlenmiş olmasından kaynaklanabilir. CAB ve W UMa sistemlerinin bu derece ki ayrımı $\log J - \log P$ ve $\log M - \log P$ diyagramlarında yoktur. Periyodu 4 gün civarında hem ayrık hem de değen sistemlerin olduğu Şekil 3 ve 4 de görülebilir.

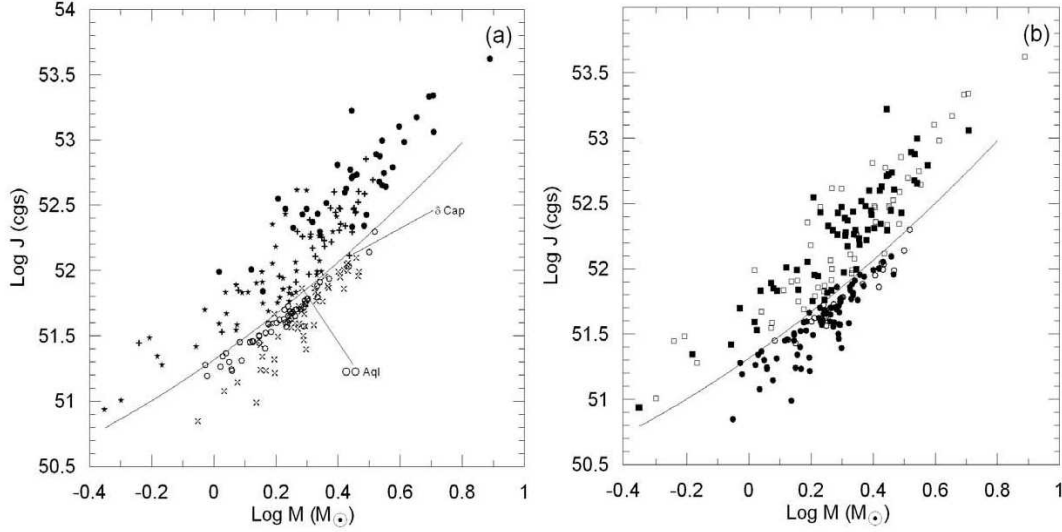
CAB ve W UMa ları ayıran sınır, dikkatli bir şekilde göz kararı ile sayısallaştırılmıştır. Değme sınırı adını vardığımız bu sınır

$$\log J = 0.522(\log M)^2 + 1.664(\log M) + 51.315, \quad (9)$$

bağıntısı ile temsil edilebileceği, sınırın $\log J - \log M$ diyagramında gösterimi ile açıkça görülmektedir. Yukarıda bağıntıda M , Güneş kütlesi biriminde ve J de cgs birimindedir.

(9) denklemi ile ifade edilen sınırın fiziksel anlamı toplam kütlesi belli değen bir sistemin sahip olabileceği maksimum yörünge açısal momentumunu ifade etmesidir. Tek yıldızlarda olduğu gibi, dönme açısal momentumu belli bir değer altında olması gerekmektedir, yoksa yıldızın kendi çekimi yeterli, merkezci kuvveti oluşturamaz ve yıldız

parçalanır. Aynı durumun, W UMa değen sistemleri içinde geçerli olduğunu (9) bağıntısı ile görüyoruz. Herhangi bir çift yıldızın J si, (9) bağıntısı ile M değerinden hesaplanan J den büyükse, iki yıldızın arasındaki uzaklık değme uzaklığından daha büyük olur. Ancak, J nin daha küçük olması durumunda a küçülür ve sistemler değme durumuna gelebilir. J değerlerinin periyottan daha çok a değerlerine duyarlı olduğu (1) bağıntısında açıkça görülmektedir.

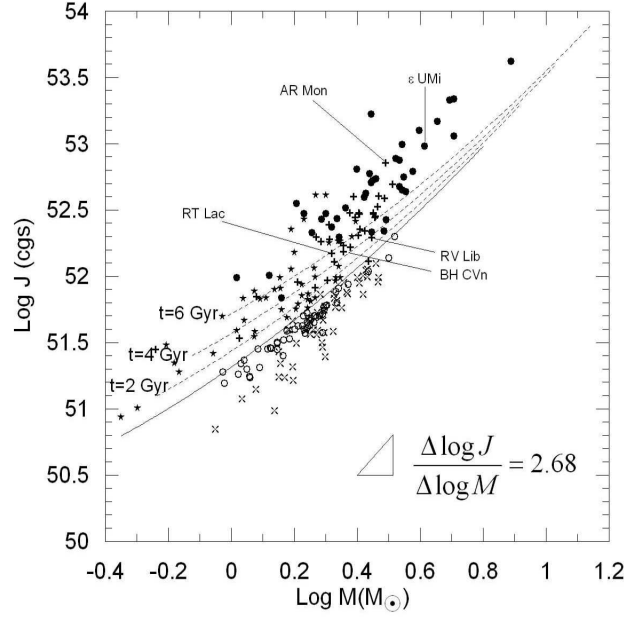


Şekil 5: Ayrık ve değen sistemleri kesin bir şekilde ayıran sınır (katı çizgi).
(a) ve (b) panellerindeki semboller, sırası ile, Şekil 3 ve 4 deki gibidir.

Üçüncü çalışmamızda [27], ortalama J , P ve M değişim oranları belirlenirken yarı değen oldukları ve bu yarıda kütle aktarım komplikasyonu gösteren (RT Lac, AR Mon, ϵ UMi, RV Lib, BH CVn) beş sistem liste dışı bırakılmıştır. Bu beş sistem Şekil 6 da $\log J - \log M$ diyagramı üstünde işaretlenmiştir. Bu sistemlerin sınıra yakın yerlerde olmayıp, ayrık sistemler arasında rasgele dağıldığı görülmektedir. Demek ki yarı değen durumunun, tam ayrık durumundan farkı yoktur. Yani Roche loblarından birinin dolmuş olması sistemin kontak sınırına yakın olmasını gerektirmez.

$\log J - \log M$ diyagramını, dinamik evrim ve W UMa oluşumu açısından incelemek, diğer diyagramlara göre daha kolay yorumlanması bakımından önemlidir. Diyagramda da açıkça görüleceği gibi ayrık bir sistemin değen bir sisteme dönüşmesi, ayrık sistem açısal momentum kaybetmesi ile yerini terk edip, değen sistemler bölgesine gelmesi ile mümkündür. Ancak izleyeceği yolun yönü ve hızı, (dJ/dt) ve (dM/dt) yani yörünge açısal momentumu ve kütle kayıp hızlarına bağlıdır. dJ/dt ve dM/dt değerleri her sistem için ayrı ayrı olabileceği açıktır.

$\log J - \log M$ diyagramı da diğer diyagramlar gibi tek tek yıldızların dinamik evrimleri hakkında bilgi vermez çünkü hiçbir sistemin başlangıç noktası belli değildir. Şekil 5b, MG ve alan CAB sistemlerinin önceki diyagramlarda olduğu gibi $\log J - \log M$ diyagramında da rasgele dağılım sergilediklerini gösterir. Yani $\log J - \log M$ diyagramındaki herhangi bir noktada genç ve yaşlı sistemin olması eşit olasılıklıdır.



Şekil 6: Ayrık sistemlerin kontaklık sınırına ulaşmaları için gerekli olan zaman çizgileri. Ortalama dinamik evrim (hipotenüs) ve 2 Gyr lık ortalama azalma (sağ taraf).

Bütün bunlara rağmen, (9) bağıntısı ile ilgili ifade edilen değme sınırının varlığı, ayrık sistemler arasından hangilerinin yaklaşık ne kadar zaman sonra değen sistemler olabileceğini tahmin etmemize yardımcı olabilir. Bu amaçla, 2, 4 ve 6 Gyr zamana karşılık gelen ortalama ΔM ve ΔJ değişimleri değme sınırındaki M ve J değerlerinden çıkarılmıştır. Yani, bir anlamda, değme sınırı, ortalama değişime göre kaydırılmıştır. 2, 4 ve 6 Gyr la karşılık gelen bu sınırlar Şekil 6 da noktali çizgilerle gösterilmiş, hangi zaman aralığını temsil ettikleri şekilde belirtilmiştir.

Herhangi bir noktali çizgi ve değme sınırı arasında kalan CAB sistemleri, noktali çizgi ile belirtilen zaman sonra, değme sınırını geçeceğini söyleyebiliriz. Çizgiler ile değme sınırı arasındaki sistemleri saydıktan sonra, CAB yıldızlarının %11, %23 ve %39 nun gelecek 2, 4 ve 6 Gyr içerisinde değme sınırını geçip değen sistemler olacağını öngörüsü Şekil 6 ya göre yapılabilir.

4.4. Yörüngelerin Periyot ve Büyüklük Evrimleri

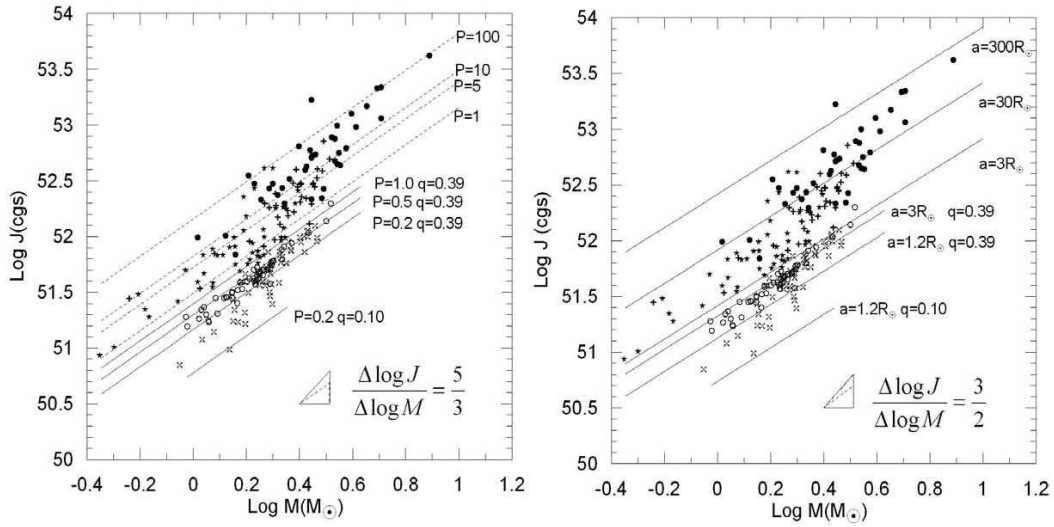
$\log J - \log M$ diyagramı üstünde, sabit periyot çizgilerini (8) bağıntısına göre hesaplamak mümkündür.

$$J = \frac{q}{(1+q)^2} \sqrt{GM^3 a} \quad (10)$$

bağıntısından da, sabit yörünge büyüklüğünün çizgileri hesaplanabilir. Mevcut CAB ve W UMa örneklerinin istatistikinden bulunan $q = 0.88$ ve $q = 0.39$ medyan değerlerini CAB ve W UMa yıldızlarının, sabit (P) ve sabit (a) hesabında kullandık. Sabit (P) ve sabit (a) çizgileri Şekil 7 de görüldüğü gibi, değme sınırına hemen hemen paraleldirler. Ayrık CAB bölgesinde, değme sınırına yaklaştıkça P ve a değerleri küçülmektedir. Sınırdan sonra da P ve a nın küçülmeye devam ettiği şekilden görülmektedir.

Sabit (P) ve (a) çizgileri, küçük q değerlerine çok duyarlıdır. Bu duyarlılığı, $q = 0.88$ ve $q = 0.39$ ile hesaplanan $P = 1$ gün (veya $a = 3 R_{\odot}$) çizgilerini, veya $q = 0.39$ ve $q = 0.1$ ile hesaplanan $P = 0.2$ gün (veya $a = 1.2 R_{\odot}$) çizgilerini karşılaştırarak görmek ve

hissetmek mümkündür. P lerin ve a ların sol üst taraftan sağ alt tarafa doğru küçülmesi, dinamik evrimin $\log J - \log M$ diyagramında sol üstten sağ alt tarafa doğru olduğu kanısını uyandırabilir. Bu bir aldatıcı durumdur, çünkü böylesi bir dinamik evrim, sistemlerin kütlelerinin artmasını gerektirir ki, mümkün değildir. Doğru olan: kütle kaybı olmaması durumunda (sadece dJ/dt), evrim aşağıya doğru, kütle kaybı değerlerine göre ise evrimin yönü sağ üstten sol alta doğrudur. Ancak, P ve a çizgileri de sağ üstten sağ alta doğru uzandığı için, yörüngelerin küçülüp W UMa oluşturabilmesinin sınırları vardır. Bu sınırlar Şekil 7 de dik üçgenlerinin içindeki noktali çizgilerle ve $\Delta \log J / \Delta \log M$ değerleri ile belirtilmiştir. Üçgenler içindeki noktali çizgilerden daha küçük olan her eğimde, ilgili P ve a küçülmez, aksine büyür yani, W UMa oluşumu mümkün olmaz. Ortalama δ nın değeri, hipotenüslerin eğimi, üçgen içindeki noktali çizgide büyük olduğu için, CAB sistemlerinin genelde periyotlarının azaldığını, yörüngelerinin küçüldüğünü gösterir.



Şekil 7: Yörüngelerin periyot ve büyüklük evrimi. Ortalama (hipotenüs) dinamik evrim ve uygun azalmalar (üçgenler).

5. Sonuçlar

- 1) CAB ayırık sistemlerinin kinematik yaşlarından bulunan $\bar{\delta} = 2.68$ değerli dinamik parametrenin gerektirdiği dinamik evrime göre, Güneş civarındaki ayırık CAB sistemlerinin periyotları kısalmakta ve yörünge boyutları azalmaktadır.
- 2) $\log J - \log M$ diyagramı üstündeki ayırık ve degen sistemleri birbirinden ayıran bir sınır ampirik olarak keşfedilmiştir. Bu durumda, ayırık bölgedeki bir sistemin açısal momentum ve kütle kaybederken degen bölgesine geçme durumunda, bir ayırık sistemden bir degen sistem oluşmuş olur.
- 3) Şekil 7 ye göre sadece W UMa periyotlarına yakın periyottaki (~ 1 gün) ayırık sistemlerden değil, $P \sim 10$ güne kadar periyotlu sistemlerden de W UMa yıldızları oluşabilir. Ortalama dinamik evrimin hızı ve yönü itibarı ile mevcut CAB lerin önemli bir bölümü (%39) 6 Gyr gibi bir süre içinde W UMa larda dönüşeceği öngörülebilir.
- 4) W UMa oluşumu sadece, ayırık sistemlerden değildir. Doğrudan başlangıçta anakol öncesi evrim sonunda degen durumunda oluşmuş W UMa sistemleri de vardır.
- 5) Bu durumda, istatistik çalışmalara bu yeni bilgilerinde eklenmesini ve yine hala %0.2 lik W UMa oranının yeterli gelip gelmediğinin araştırılmasının gerekliliği ortadadır.

Kaynaklar

- [1] Mochnacki, S.W. (1981), “Contact binary stars”, *ApJ*, **245**, 650-670.
- [2] Vilhu, O. (1981), “Problems of low binary evolution”, *Ap&SS*, **78**, 401-418
- [3] Rucinski, S.M. (1982), “Contact binaries - angular momentum loss in and out of contact”, *A&A*, **112**, 273-276
- [4] Rucinski, S.M. (1986), “Contact binaries”, *IAU Symp.*, **118**, 159-172
- [5] Schatzman, E. (1959), “Sur la perte de masse et les processus de freinage de la rotation”, *IAUS*, **10**, 129
- [6] Kraft, R.P. (1967), “Studies of stellar rotation. V. The dependence of rotation on age among solar-type stars”, *ApJ*, **50**, 551-570
- [7] Metsel, L. (1968), “Magnetic braking by a stellar wind”, *MNRAS*, **138**, 359-391
- [8] Skumanich, A. (1972), “Time scales for Ca II emission decay, rotational braking, and lithium depletion”, *ApJ*, **171**, 565-567
- [9] Huang, S.S. (1966), “Problems of close binary systems that involve transfer of angular momentum”, *ARA&A*, **4**, 35
- [10] Okamoto, I., Sato, K. (1970), “The formation of W UMa stars”, *PASJ*, **22**, 317-333
- [11] van't Veer, F. (1979), “Angular momentum controlled evolution of solar type contact binaries”, *A&A*, **80**, 287-295
- [12] Vilhu, O., Rahunen, T. (1980), “W UMa stars and angular momentum loss”, in Plavec M.J., Popper D.M., Ulrich D.R. eds., *Proc. IAU Symp.* **88**, Close binary stars, Reidel, Dordrecht, 491-494
- [13] Metsel, L. (1984), “Angular momentum loss during pre-main sequence contraction”, *Cool stars stellar systems and sun, Proceedings of the third Cambridge workshop on cool stars, stellar system and sun*, eds. Sallie L. Baliunos and Lee Hartmann. Vol: 193, Springer -Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1984, 49.
- [14] Guinan, E.F., Bradstreet, D.H. (1988), “Kinematic clues to the origin and evolution of low mass contact binaries”, *Formation and Evolution of low mass stars, Proceedings of a NOTA advanced study institute, Portugal*, eds: A. K. Dupree and MTVT Lago, *NATO ASI series C*, **241**, 345.
- [15] Maceroni, C. (1991), “Evolution and synchronization of angular momentum loosing G-type main-sequence binaries”, *A&A*, **246**, 91-98
- [16] Stepien, K. (1995), “Loss of angular momentum of cool close binaries and formation of contact systems”, *MNRAS*, **274**, 1019-1028
- [17] Demircan, O. (1999), “Dynamical evolution of the RS CVn type binaries” *TJPh*, **23**, 425-432
- [18] Demircan, O. (2000), “Period changes as a tool to study unseen components around eclipsing binaries”, *NATO ASI Series C*, **544**, 615
- [19] Demircan, O. (2002), “Period variation of Algol type binaries”, *Royal road to the stars, Pub. of Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Çanakkale*, **130-135**
- [20] Kreiner, J.M., Kim, C-H, Nha, II S. (2001), “An atlas of O-C diagrams of eclipsing binary stars”, Poland, Wydawnictwo Naukowe Akademi Pedagogicznej-Krakow
- [21] Roxburgh, I.W. (1966), “On the fission theory of the origin of binary stars”, *ApJ*, **143**, 111-120
- [22] Rucinski, S.M. (2002), “The 7.5 magnitude limit sample of bright short period binary stars. I. How many contact binaries are there?”, *PASP*, **114**, 1124-1142
- [23] Rucinski, S.M. (2006), “Luminosity function of contact binaries based on the All Sky Automated Survey ASAS”, *MNRAS*, **368**, 1319-1322
- [24] Paczynski, B., Szczygiel D., Pilecki B., Pojmanski G. (2006), “Eclipsing binaries in the All Sky Automated Survey Catalogue”, *MNRAS*, **368**, 1311-1318
- [25] Karataş, Y., Bilir, S., Eker, Z., Demircan, O. (2004), “Kinematics of chromospherically active binaries and evidence of an orbital period decrease in binary evolution”, *MNRAS*, **349**, 1069-1092
- [26] Bilir, S., Karataş, Y., Demircan, O., Eker, Z. (2005), “Kinematics of W UMa Binaries and evidence of the two types of formation”, *MNRAS*, **357**, 497-517
- [27] Demircan, O., Eker, Z., Karataş, Y., Bilir, S. (2006), “Mass loss and orbital period decrease in detached chromospherically active binaries”, *MNRAS*, **366**, 1511-1519.
- [28] Eker, Z., Demircan, O., Bilir, S., Karataş, Y. (2006), “Dynamical evolution of active detached binaries on $\log J_0 - \log M$ diagram and contact binary formation”, *MNRAS* (sunuldu)
- [29] Eker, Z. (1992), “Kinematics and age of RS Canum Venaticorum and by Draconis stars”, *ApJS*, **79**, 481-505
- [30] Aslan, Z., Özdemir, T., Yeşilyaprak, C., İskender, A. (1999), “Kinematics of RS CVn Binaries in the Hipparcos Catalogue”, *TJPh*, **23**, 445-452
- [31] Perryman, M. A. C. ve ark. (1997), “The HIPPARCOS Catalogue”, **323L**, 49
- [32] Eggen, O. J. (1994), “Stellar Clusters, Superclusters and groups”, *Galactic and Solar System Optical Astrometry, Proceedings of the Royal Greenwich Observatory and the Institute of Astronomy Workshop*, Cambridge University Press, 191

- [33] Eggen, O. J. (1958a), “*Stellar groups. I. The Hyades and Sirius groups*”, *MNRAS*, 118, 65-79
- [34] Eggen, O. J. (1958b), “*Stellar groups. II. The zeta Herculis, ϵ Indi and 61 Cygni groups of high-velocity stars*”, *MNRAS*, 118, 154-160
- [35] Eggen, O. J. (1989), “*Large and kinematically unbiased samples of G- and K-type stars. IV - Evolved stars of the old disk population*”, *PASP*, 101, 366-416
- [36] Eggen, O. J. (1995), “*Reality Tests of Superclusters in the Young Disk Population*”, *AJ*, 110, 2862-2867
- [37] Montes, D., López-Santiago, J., Gálvez, M. C., Fernández-Figueroa, M. J., De Castro, E., Cornide, M. (2001a), “*Late-type members of young stellar kinematic groups - I. Single stars*”, *MNRAS*, 328, 45-63
- [38] Montes, D., Fernández-Figueroa, M. J., de Castro, E., Cornide, M., Latorre, A. (2001b), “*Chromospherically Active Binaries Members of Young Stellar Kinematic Groups*”, 11th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun, *ASP Conference Proceedings*, Vol. 223. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.1477

