

ALGOLLERDE SALT PARAMETRELER VE AÇISAL MOMENTUM

Faruk Soyduğan^{1,2}, Esin Soyduğan^{1,2}, Cafer İbanoğlu³ ve
Osman Demircan^{1,2}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üni. Fen-Edebiyat Fak., Fizik Bölümü

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi

³Ege Üni. Fen Fak. Astronomi ve Uzay Bil. Bölümü

fsoydugan@comu.edu.tr

Özet

Bu çalışma için literatürde salt parametreleri iyi belirlenmiş tüm ayırık ve yarı-ayırık Algollerin parametre değerleri toplandı. İlk olarak ayırık (DB) ve yarı-ayırık (SDB) sistemlerin kütle dağılımları incelendi. DB'lerin tüm bileşenlerinin anakol bandında yer aldığı görülmektedir. Diğer taraftan, SDB'lerin ikinci bileşenlerinin aynı kütle ve etkin sıcaklıktaki anakol yıldızlarına göre daha büyük yarıçap ve ısıtma değerlerine sahip oldukları açıktır. Ayrıca, SDB'lerin kütle alan bileşenlerinin izdüşüm dönme hızları toplanarak incelendi. Açısal momentum dağılımlarına bakıldığında, yörünge dönemi 5 günden büyük olan SDB'lerin öz açısal momentum değerlerinin kısa dönemlilere göre daha büyük olduğu belirlendi. Yörünge dönemi 5 günden büyük olan SDB'lerin öz açısal momentumlarının aynı kütledeki kısa dönemlilerden yaklaşık %65 oranında daha büyük olduğu hesaplandı. DB ve SDB'lerin açısal momentum dağılımları incelendiğinde, açısal momentum kaybının yakın çiftlerin evrimini önemli derecede etkilediği açıkça görülmektedir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar, yakın çiftlerin evriminin DB olarak başladığını ve açısal momentum kaybıyla yörünge döneminin kısaldığını ve dolayısıyla yörünge küçüldüğünü göstermektedir. Bu aşamadan sonra, çiftin evriminin hızlandığı ve kütle aktarım oranlarının da büyüdüğü söylenebilir.

Anahtar kelimeler: çiftler: örten çiftler – yıldızlar : evrim

Abstract

We have collected the well-determined absolute parameters of detached (DB) and semi-detached (SDB) Algol type binaries. The distributions of the primary and secondary masses are investigated. The components of the DBs are almost all located in the main-sequence band. On the other hand, the secondary components of the SDBs have larger radii and luminosity with respect to the same mass and the same effective temperature of main-sequence counterparts. In addition, the projected rotational velocities of the gainer components in SDBs have been compiled and their distributions were examined. Moreover, total and specific angular momenta are larger for SDBs of orbital periods with $P > 5$ d than those of the shorter period ones. The specific angular momenta of SDBs with periods longer than 5 d are 65 per cent greater than that of the short period group with the same mass. The distribution of the angular momentum for DBs and SDBs reveals that the angular momentum loss considerably affects the evolution of close binary systems. Our results indicate that the evolution of close binaries begins as DB and losing angular momentum the period is shortened and orbit shrinks. Thereafter, the evolution of the system is accelerated and mass transfer rates are enhanced.

Key words: binaries: eclipsing – stars: evolution

1. Giriş

Güneş komşuluğundaki yıldızların yaklaşık yarısının çift veya çoklu sistem olduğu düşünülmektedir. Yaklaşık iki yüzyıl önce başlayan çift yıldız çalışmalarından bugün gelinen noktaya bakıldığında artık bazı çiftlerin bileşenlerinin kütle ve yarıçaplarının %1 duyarlılıkla belirlenebildiği görülmektedir. Bu da özellikle yıldız evrimini anlamada ve yapılan kuramsal modellerin denetmesinde önemli yol alınmasını sağlamıştır.

Tek yıldızların evrimi, iki temel parametre olan kütle ve kimyasal bileşim ile tanımlanırken, çift yıldızların evrimini ise, sistemin toplam kütlesi, kütle oranı ve yörünge dönemi veya bileşenler arası uzaklık belirler. Çiftlerin anakoldan önceki evrimlerinin çok iyi

bilinmemesi nedeniyle, kuramsal modeller genellikle sıfır-yaş anakolundan (ZAMS) başlar. Diğer taraftan çift yıldızların evrimini anlamada diğer bir güçlük, anakol öncesi ve anakol evrimindeki açısal momentum kaybının iyi bilinmemesidir.

Son yıllara kadar çift yıldızların evrimine ilişkin yapılan çalışmalarda, genellikle evrim sürecinde sistemin toplam kütle ve açısal momentumunu korunduğu varsayılmaktaydı (Kippenhahn ve Weigert 1967, Plavec 1968, Paczynski 1971). Ancak bu kuram, yörünge dönemi değişimleri ve düşük kütleli bileşenlerin ısıtma fazlalığı gibi konuları açıklamakta zorlanmaktaydı. Evrim sırasında, bir yıldızın yarıçapı önce büyür ve daha sonra küçülür. Eğer yıldız bir çiftin bileşeni ise, onun genişlemesi diğer bileşen tarafından kontrol edilir. Diğer taraftan, yıldız yarıçapı, Roche lobunu aşamaz. Büyük kütleli bileşen Roche lobunu doldurduğunda, bu bileşenden küçük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı başlar. Kippenhahn ve Weigert (1967), kütle aktarımının başladığı iki farklı evre olduğunu ortaya koydu ve daha sonra buna bir evre daha eklendi. Bu kütle aktarım evreleri, Durum A, B ve C olarak adlandırılır. Durum A'da, büyük kütleli bileşen merkezinde Hidrojen yakarken Roche lobunu doldurur ve kütle aktarımı başlar. Bu evre çok hızlı gerçekleştiğinden, genellikle bu aşamada olan sistemler gözlenemez. Eğer kütle aktarımı, merkezdeki Hidrojen bitince başlar ise bu Durum B ile adlandırılır. Durum C'de ise daha ileri evrim aşamalarında kütle aktarımı başlar. Klasik Algollerin bu sınıflama içindeki yerine bakıldığında, üzerinde düşünce birliği olmasa da, yapılan modellerde en iyi uyum, kütle kaybı da tahmin edilerek, Durum AB (A ve B arası) ve Durum B'de sağlanmıştır (Hilditch, 2001). Ayrıca, Giuricin ve Mardirossian (1981), özellikle küçük kütleli Algollerin evrim aşamalarının büyük bir kısmının Durum B ile açıklanabileceğini belirtmiştir. Özellikle son yıllarda yapılan evrim modelleri ile birlikte, geri tayf türünde bileşen içeren (G veya daha geri) Algollerin evrimlerinin korunumlu madde aktarımı yaklaşımı ile açıklanamayacağı kesinlik kazanmıştır (Nelson ve Eggleton, 2001). Nelson ve Eggleton, yaptıkları çalışmada, korunumlu madde aktarımı ve Durum A yaklaşımı ile sıcak Algollerin (bileşenlerin her ikisi de B-G III-V arası) şu andaki parametrelerinin evrim modelleri ile tam olarak olmasa da uyuma gösterdiğini belirtmişlerdir. Fakat geri türden bileşen içeren Algoller için (büyük çoğunluğu G-K III-IV tayf türünden bileşen içerir) bu yaklaşımlar

altında yapılan evrim modelleri kesinlikle gözlemleri açıklayamamaktadır.

Korunumlu olmayan, yani evrimi sırasında dizgenin kaybettiği kütle ve açısal momentumu göz önüne alarak model oluşturan ve Algollerin evrimlerini açıklamaya çalışan önemli çalışmalar M.J. Sarna ve grubu tarafından yapılmıştır (örneğin, Sarna, 1993; Yerli ve diğ. 2003 gibi). Sarna (1993) tarafından yapılan çalışmada, Algol'un kendisinin Durum AB'de kütle aktarımına başladığı, evrimi sırasında toplam kütlelerinin %15'ini ve toplam açısal momentumunun %30'unu kaybettiği gözönüne alınır, yapılan evrim modelinin gözlemlerle uyuyabileceği belirtilmiştir.

Klasik Algoller, yakın ve etkileşen çift sistemler olup Roche lobunu doldurmuş, soğuk dev veya alt-dev F-K yıldızı ile kütle ve açısal momentum alan sıcak ve daha büyük kütleli B-A türü anakol yıldızından oluşur. Bu tür yıldızlar, kütle ve açısal momentum aktarımı ve kaybı, toplanma yapıları ve çift yıldız evrimine etkileri, konvektif zarflı bileşenlerin manyetik etkinliği ile çift yıldızların açısal momentum ve yörünge evrimlerinin incelenmesi açısından önemli astrofizik laboratuvarlardır. Ancak, bu önemli süreçlerin çalışılması ve anlaşılması için yıldızların salt parametrelerinin ve yörünge öğelerinin iyi bilinmesi gerekir.

Klasik Algollere ilişkin farklı alanlarda çalışmalar yürütülmektedir (bakınız Çizelge 1). Ancak kütle aktarımı bu dizgelerin en karakteristik özelliğidir. Klasik Algoller, yavaş kütle aktarımı evresindedir ve aktarım oranları $10^{-7} - 10^{-11} M_{\odot}/\text{yıl}$ aralığındadır. Bu dizgelerin kütle aktarımı ve toplanma süreçlerine ilişkin gözlemsel kanıtları şu şekilde verilebilir: (i) Işık ve renk eğrilerindeki değişimler, (ii) Kütle alan bileşenlerin dikine hız eğrilerindeki bozulmalar, (iii) kütle alan bileşenlerin eş-dönmeden büyük dönme hızları, (iv) H α ve H β gibi güçlü tayf çizgilerindeki ek salma ve/veya soğurma yapıları. Bazı kuramsal çalışmalarda da, kütle aktarımı problemini ele alarak akan maddenin izlediği yol ile sıcak bileşen etrafındaki toplanma yapılarına ilişkin modeller yer almaktadır (örneğin, Lubow ve Shu 1975). Bu durumda, bir klasik Algol için hem kuramsal öngörüler hem de gözlemsel kanıtlar, kütle aktarımı ve toplanma yapılarının varlığını ortaya çıkarma ve anlamamızda önemli bilgiler vermektedir.

Çizelge 1. *Klasik Algollere ilişkin yürütülen temel araştırma konuları ve örnek çalışmalar*

Çalışma Konusu	Örnek Çalışma
Işık eğrileri ve analizleri	Richards et al. (1988), van Hamme & Wilson (1990)
Yörünge dönemi değişimleri	Hall (1989), Simon (1999), Qian (2000), Demircan (2003), Soydugan (2008)
Dikine hız eğrileri ve yörünge çözümleri	Popper (1989), Soydugan vd. (2007)
Kütle aktarımı ve tayfsal kanıtlar	Richards & Albright (1999), Vesper et al. (2001), Soydugan ve diğ. (2007)
Sıcak bileşenlerin dönme hızları	Etzel & Olson (1993), Mukherjee et al. (1996)
Evrin durumları – modelleri	de Greve (1993), Sarna (1993), Nelson ve Eggleton (2001)
Sıcak bileşenlerde δ Scuti türü zonklama	Rodriguez et al. (2000), Mkrtichian et al. (2004), Soydugan (2005), Soydugan vd. (2006)
Soğuk bileşen ve manyetik etkinlik	Sarna ve diğ. (1997), Retter ve diğ (2005)

Son yıllarda, kısa ve uzun dönemli Algollerin yüksek çözümleme gücüne sahip tayflarında, farklı özelliklerde ek salma ve/veya soğurma özellikleri ile (özellikle $H\alpha$ çizgisinde) karşılaşıldı (Richards ve Albright 1999). Bu durum, daha çok örnek üzerinde çalışıldığında, $P > 5-6$ gün (uzun dönemli) ve $P \leq 5-6$ gün (kısa dönemli) dönemli sistemlerde, tayfsal özelliklerinin kütle aktarımı ve toplanma yapılarının farklılığından kaynaklandığı ortaya çıkarıldı: Uzun dönemli dizgelerde, akan madde, kütle alan yıldız bileşenin bileşenler arası uzaklığa göre oldukça küçük yarıçaplı olduğundan akan madde, yıldıza çarpmadan etrafında bir kalıcı “toplanma diski” oluşturur. Kısa dönemli sistemlerde ise durum çok daha karmaşıktır. Kütle alan yıldızın görelî yarıçapı oldukça büyük olduğundan akan madde yıldız yüzeyine çarpar. Yörünge dönemi 4.5-6 gün aralığında olan sistemlerde oluşan toplanma yapısı ise “geçici toplanma diski” (Kaitchuck ve Honeycutt 1982) olarak adlandırılırken, $P < 4.5$ gün olanlarda ise “toplanma halkası” olarak adlandırılır (Richards, Jones ve Swain 1996).

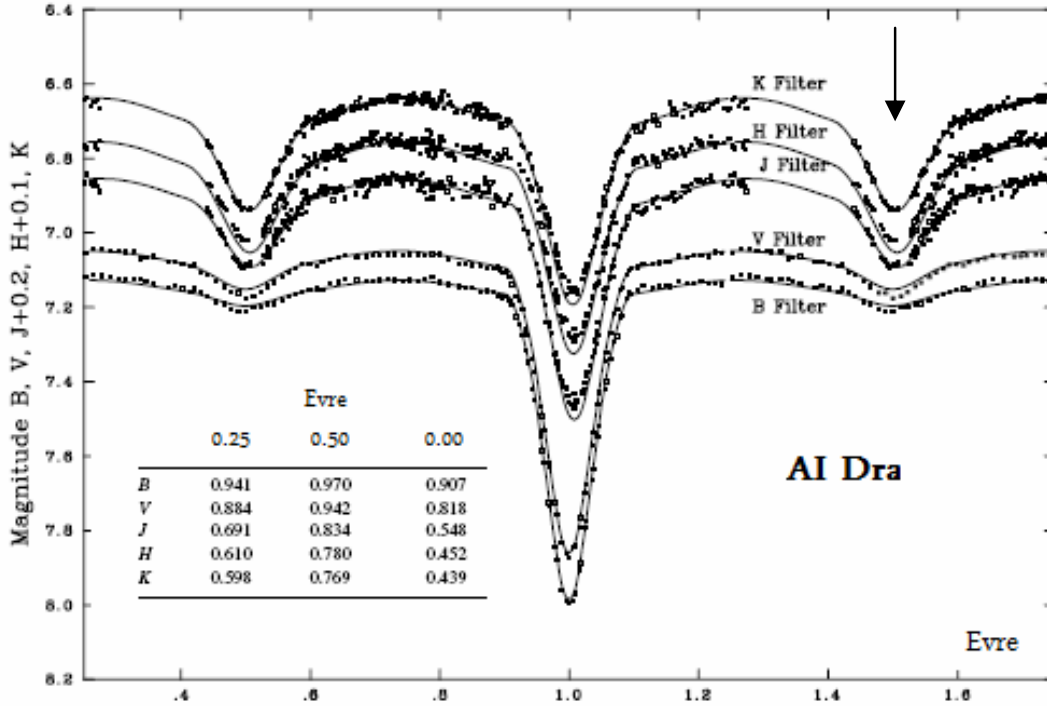
Bu çalışmada, ayrıık (DBs) ve yarı-ayrık (SDBs) klasik Algollerin salt parametreleri derlenerek, salt parametreler ve dönme hızları dağılımları, açısal momentum hesapları, açısal momentum ile salt parametreler arasındaki ilişkiler ve farklı türlerdeki çift yıldızlarındaki açısal momentum farklılıkları tartışılacaktır.

2. Algollerin Salt Parametreleri

Bir örten çift yıldızın salt parametrelerinin duyarlı bir şekilde belirlenmesi için en temel gereksinim, ışık eğrileri ve iki bileşenin de dikine hız eğrileridir. Bu iki grup verinin birlikte çözümleri, yörünge parametreleri ile bileşenlerin salt parametrelerini yüzde birkaç duyarlılığa kadar hassas bulmamıza olanak sağlar. Ayrıık örten çiftlerde, ışık ve dikine hız eğrilerinin yakınlık etkilerini içermemesi, bileşenlerin toplan ışığa katkılarının karşılaştırılabilir düzeyde olması ve böylece dikine hızların daha duyarlı ölçülebilmesi sonuçların çok daha duyarlı olması sonucunu getirir. Klasik Algollerde ise durum farklıdır çünkü bu dizgelerde soğuk yıldız evrimleşmiş ve küresellikten uzaklaşmıştır. Bunun yanında, büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı sürecinde olmaları, onların ışık, renk ve dikine hızlarında bozulmalar meydana getirebilir. Diğer önemli bir özellik ise, klasik Algollerin soğuk bileşenlerinin, optik bölgede, çiftin toplam ışığına katkılarının genellikle %10'dan daha az düzeyde olmasıdır. Bu durum, optik ışık eğrilerinde çok sığ bir ikinci minimum karşımıza çıkarırken, soğuk bileşenin dikine hızlarının da belirlenmesini güçleştirmektedir.

Klasik Algollerde, duyarlı çözümlere ulaşmak için çok sayıda süzgeçle ve özellikle kırmızı ve/veya kırmızı öte bölgeye duyarlı süzgeçlerle elde edilmiş ışık eğrileri analiz edilmelidir. Şekil 1'de farklı süzgeçler ile edilmiş ışık eğrilerindeki özellikle ikinci minimum derinliğindeki farklar kendini açıkça gösterirken, şekil içinde yer alan çizelgede de sıcak bileşenin toplam ışığına katkısının B süzgecinde %94 yöresinde iken, K süzgecinde yaklaşık %60 düzeylerine indiği belirlenmiştir (Lazaro ve diğ. 2004).

Klasik Algollerin ışık eğrilerindeki bozucu etkiler, kütle aktarımı ve toplanması ile bunun sonucu sıcak bileşenin yüzeyindeki çarpma bölgesinde sıcak leke ve konvektif zarflı bileşen üzerinde soğuk lekeler olarak sıralanabilir. Bu etkilerin modellenmesindeki güçlükler, bileşen parametrelerinde belirsizlikler ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 1. AI Dra'nın farklı süzgeçlerle elde edilmiş ışık eğrileri. Ayrıca, çizelgede farklı evre ve süzgeçlerde sıcak bileşenin sistemin toplam ışığına yaptığı katkılar yer almaktadır (Lazaro ve diğ. 2004).

Çift yıldızlarda dikine hız eğrileri uzun yıllardır ortaya çıkarılmasına rağmen, duyarlı dikine hız ölçümleri, yüksek çözümleme gücüne sahip tayfların analizleri sonucunda, son 20-30 yıldır yayınlanmaktadır. Ayırık örten çiftlerde, bileşenlerin toplam ışığa katkıları birbirine çok yakın olduğundan, ayrı ayrı bileşen çizgileri ve kaymalarını duyarlı ölçmek olası iken, yarı-ayırık klasik Algollerde soğuk bileşenlerin katkıları optik tayflarda genellikle %10 düzeyinde olduğundan bu bileşenlerin dikine hız değişimlerini çıkarmak oldukça zordur. Bu nedenle, klasik Algollerde düşük çözünürlükle alınmış tayflarda sadece sıcak bileşenin dikine hız eğrileri elde edilebilmektedir. Özellikle uzun dönemli sistemlerde, sıcak bileşenlerin etrafındaki maddenin varlığı, doğru dikine hız ölçümüne ve sonuç olarak doğru yörünge çözümüne ve duyarlı salt öğelere ulaşmamızı engelleyebilir. Bu nedenle son yıllarda bazı sistemlerin sıcak bileşenleri için dikine hız ölçümleri “optik bölge dışında” – özellikle morötede alınan tayflar veya bu etkilerden arındırılmış çizgiler kullanılarak yapıldığında bu bozulmanın görülmediği ve dikine hız değişimlerinin soğuk bileşenler gibi simetrik bir sinüslü değişim gösterdiği belirlenmiştir (örneğin, Barai

ve diğ. 2004). Dikine hız eğrilerinde yakınlık etkileri ve özellikle, kütle alan bileşenin yüksek dönme hızlarının neden olduğu *Rossiter etkisi* (örneğin Lehmann & Mkrichian, 2004), dikine hızların modellenmesinde güçlükler çıkarmaktadır.

Buraya kadar anlatılan özellikle klasik Algollerin ışık ve dikine hız eğrilerinde ortaya çıkan etkiler, klasik Algollerin, ayırık dizgelere göre salt parametrelerinin daha güç ve az duyarlı belirlenebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, bugüne kadar salt parametreleri yayınlanmış ayırık ve yarı-ayırık dizgeler listelenmiş ve ayrıntılı liste İbanoğlu ve diğ. (2006)'nın çalışmasında verilmiştir. Klasik Algollerin salt parametreleri, Budding ve diğ. (2004)'nin hazırladığı son katalog çalışmasından alındı. Ayırık yıldızlar, tümü çift çizgili olmak üzere 74 sistem içerirken, klasik Algoller ise 61 dizge içermekte ancak bunlardan 38'i çift ve geriye kalan 23'ü ise tek çizgili örten çift sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Oluşturulan veri tabanında, ayırık ve yarı-ayırık yıldızların tayf türleri, yörünge dönemleri, kütle oranları, bileşenlerin kütle, yarıçap, sıcaklık ve ışıtmaları yer almaktadır.

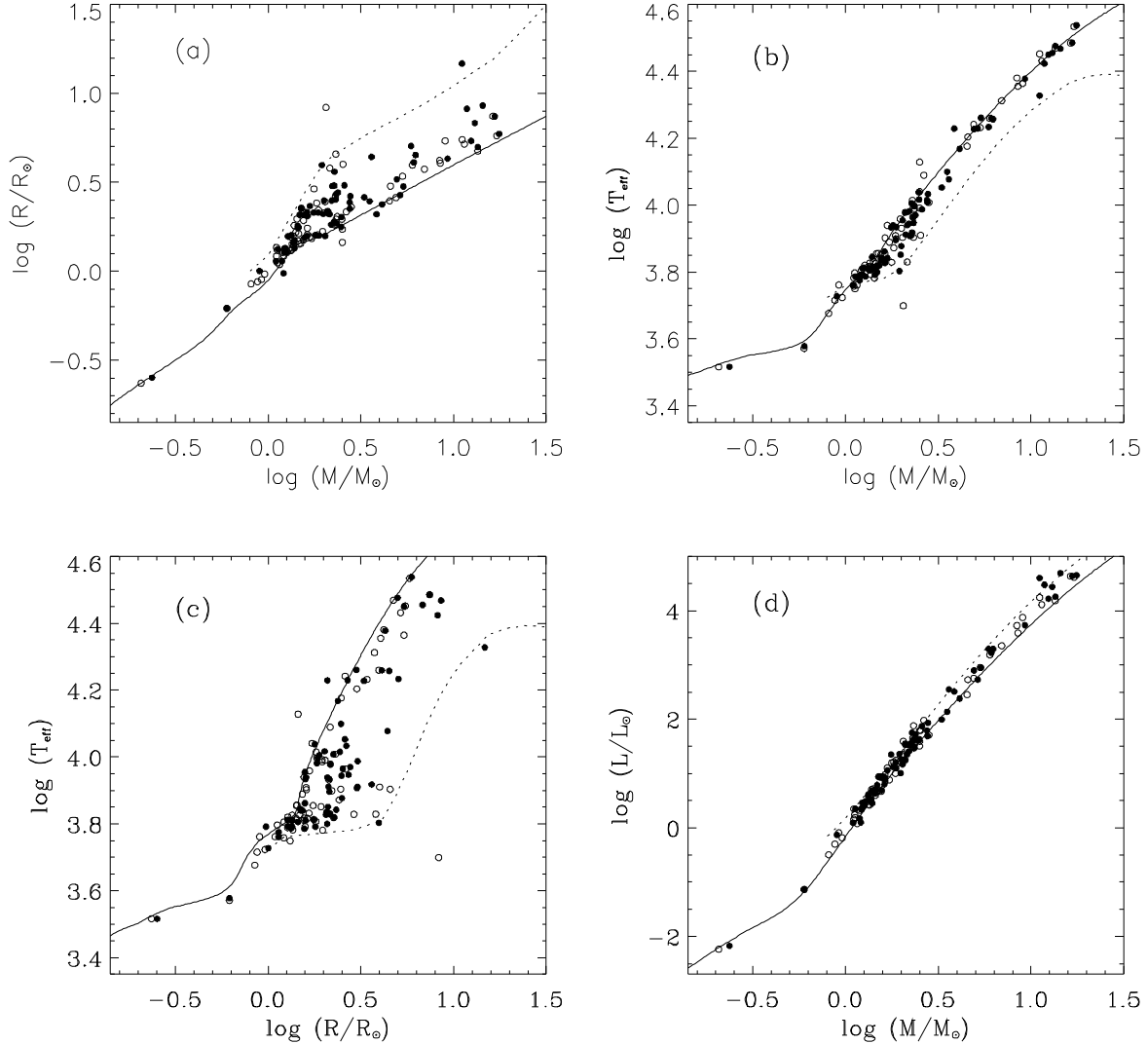
İlk olarak bu iki grup için salt parametrelerin dağılımlarına bakıldı. Çizelge 2'te ayırık ve yarı-ayırık dizgelerin ($P > 5$ gün, $P < 5$ gün olarak iki ayrı grup olarak da ele alındı) yörünge dönemleri, kütle oranları, salt parametreleri (kütle, yarıçap, ısıtma ve sıcaklık) ve yörünge açısal momentumlarının ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. DBs ve SDBs'lerin parametrelerinin ortalama değerleri

Sistem	N	$\langle P_{orb} \rangle$	$\langle q \rangle$	$\langle M_1 \rangle$ $\langle M_2 \rangle$	$\langle M \rangle$	$\langle R_1 \rangle$ $\langle R_2 \rangle$	$\langle L_1 \rangle$ $\langle L_2 \rangle$	$\langle T_1 \rangle$ $\langle T_2 \rangle$	$\langle J'(P) \rangle$
DBs	72	5.2	0.88	3.6 3.1	6.7	2.8 2.4	3922 2132	11 242 10 400	15.0
SDBs	61	6.1	0.27	3.7 1.0	4.8	3.2 5.3	989 122	11 066 5441	4.6
SDBs ($P < 5$ d)	42	2.6	0.30	3.3 1.0	4.4	2.8 3.4	339 25	10 634 5400	3.1
SDBs ($P > 5$ d)	19	13.8	0.22	4.6 1.1	5.7	4.2 9.6	2425 337	12 020 5533	7.8

3.1 Ayrık Dizgelerin Salt Parametreleri ve Standart Düzlemler

Ayrık dizgeler için literatürden derlenen salt parametreler, farklı düzlemlerde ($\log M - \log R$, $\log M - \log T_{\text{eff}}$, $\log R - \log T_{\text{eff}}$ ve $\log M - \log L$) Şekil 2’de gösterildi.

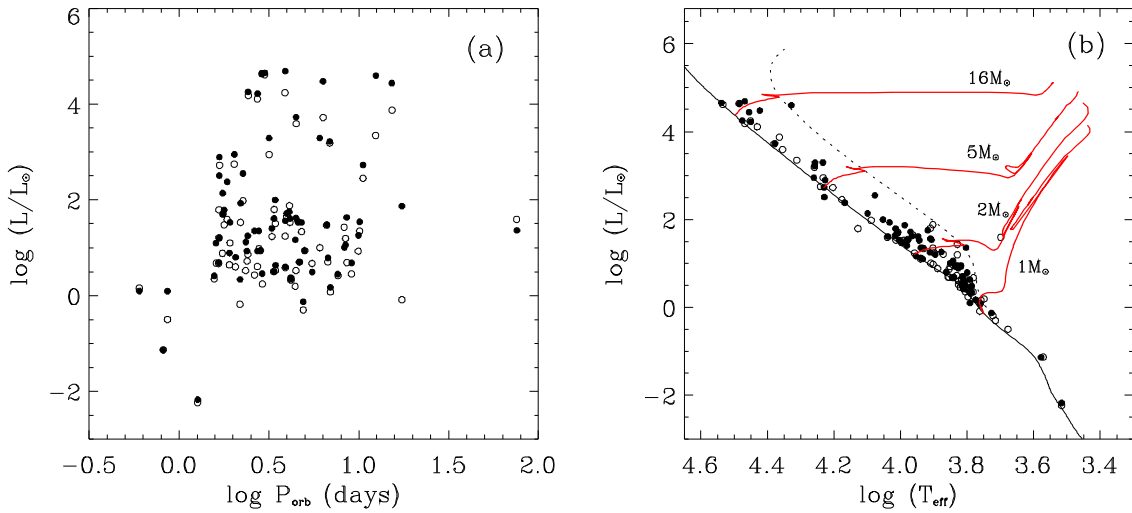


Şekil 2. DB’lerin birinci (içi dolu noktalar) ve ikinci bileşenlerinin (içi boş noktalar) farklı diyagramlardaki konumları. Sürekli ve kesikli çizgiler sırasıyla ZAMS ve TAMS’ı göstermektedir (Pols ve diğ. 1998).

Bazı sistemler dışında, DB bileşenlerinin salt öğeleri, tek yıldızların salt parametreleri ile uyumludur (Drilling ve Landolt 2000). Farklılık gösteren yıldızlardan, CM Dra, BY Dra türü lekeli bir yıldız iken, YY Gem’in her iki bileşeni de UV Cet türü değişendir. Ayrık bir dizge

olduğu bilinmesine rağmen, TZ For, birinci bileşeni alt-dev ve ikinci bileşeni bir dev yıldız olan farklı evrim aşamasındaki bir sistemdir. Başka bir ilginç sistem V380 Cyg'nin birinci bileşeni evrimleşmiş büyük kütleli bir yıldız iken, ikinci bileşeni tüm diyagramlarda ZAMS'a çok yakın görünmektedir.

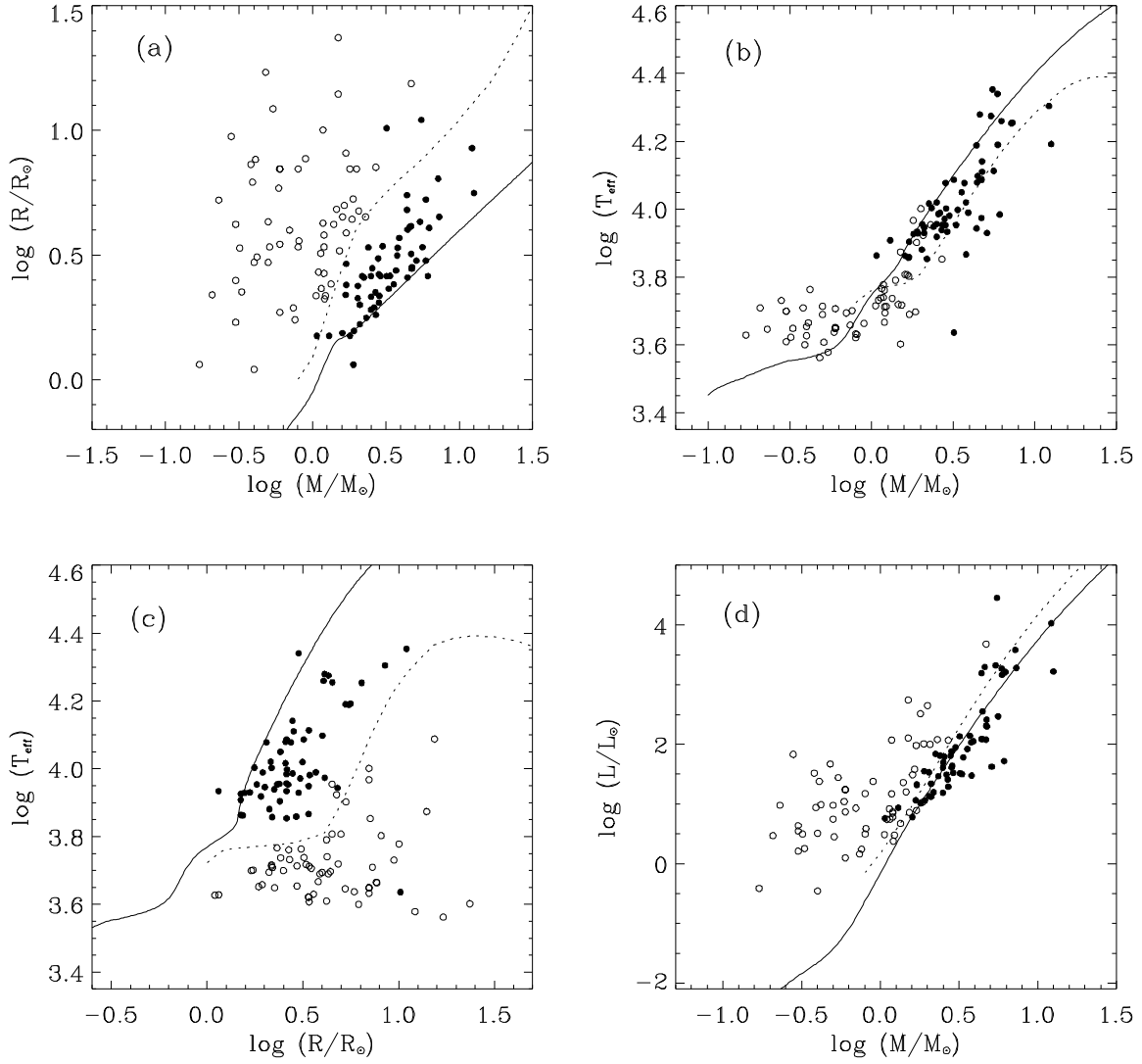
Işıtma-yörünge dönemi dağılımı ile HR diyagramını içeren Şekil 3'nin sol bölümünde, uzun dönemli dizgelerin daha büyük ışıtmaya sahip oldukları görülmektedir. Sağ paneldeki HR-diyagramında ise, sistemlerin anakol bandında yer alan evrimleşmemiş sistemler oldukları açıktır.



Şekil 3. DB'lerin ışıtma-yörünge dönemi dağılımı (a) ve HR diyagramı (b). Sağ paneldeki evrim yolları Pols ve diğ. (1998)'den alınmıştır.

3.2 Yarı-Ayrık Dizgelerin Salt Parametreleri ve Standart Düzlemler

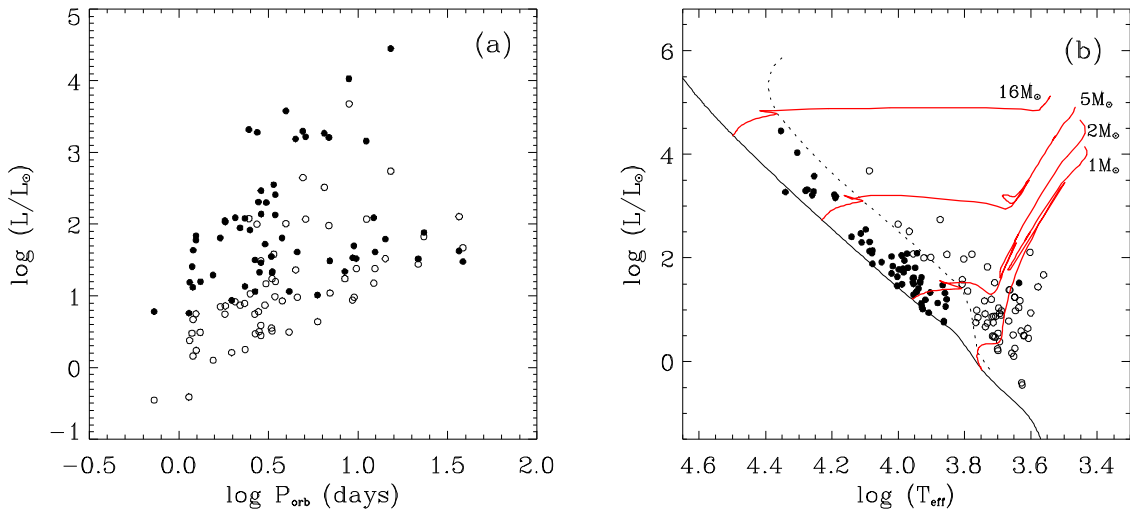
Şekil 4, SDB'ler için M-R, M-T, R-T ve M-L diyagramlarındaki dağılımlarını göstermektedir. Bu sistemlerin, yörünge dönemlerine karşı ışıtma dağılımları ve HR diyagramları ise Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 4. SDB'lerin M-R, M-T, R-T ve M-L diyagramlarındaki dağılımları. İçi dolu noktalar birinci bileşenleri, boş olanlar ise ikinci bileşenlere karşılık gelmektedir. Sürekli ve kesikli çizgiler ise yine ZAMS ve TAMS'a karşılık gelmektedir (Pols ve diğ. 1998)

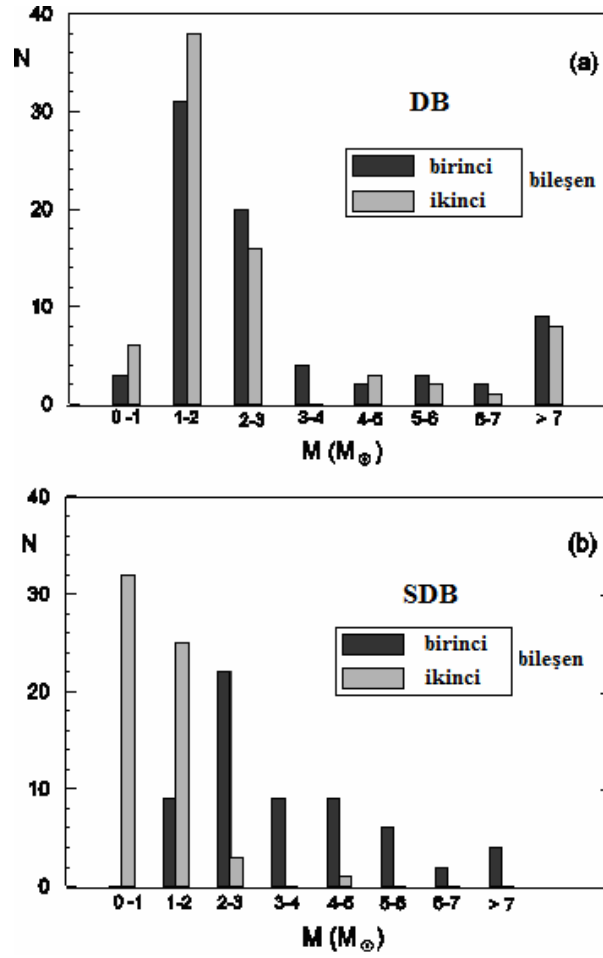
M-R diyagramında, SDB'lerin birinci bileşenleri, anakolda yer alırken, ikinci bileşenlerinin tümü anakoldaki evrimlerini tamamlayarak buradan ayrılmışlardır. Bu bileşenler, aynı kütleli bir anakol yıldızından daha büyük yarıçapa sahiptirler. Ancak, RZ Cnc'nin birinci bileşeni bir dev iken RZ Sct'nin ise bir süper dev yıldızdır. Diğer taraftan, SDB'lerin birinci ve ikinci bileşenleri için M-T dağılımı oldukça farklıdır. İkinci bileşenlerin kütleleri azaldıkça, sıcaklıkları aynı kütlede ZAMS'ta olan bir yıldızla göre artar. R-T düzleminde ise, ikinci bileşenler, aynı kütledeki ZAMS yıldızlarından daha büyük yarıçapa sahiptirler. Ayrıca bu bileşenler, M-L

düzleminde, aynı kütledeki ZAMS yıldızlarından daha büyük ışıtmalıdır. Her iki bileşenin de ışıtmaları, daha uzun dönemli sistemlere doğru gidildiğinde büyüme göstermektedir (Şekil 5a). SDB'lerin hemen hemen tüm birinci bileşenleri anakol bandında yer alırken (RZ Cnc, RZ Sct ve XZ Sgr dışında), ikinci bileşenler evrimleşerek anakoldan ayrılmışlardır. Buna bağlı olarak, bu bileşenler benzer kütleli anakol yıldızlarından daha büyük yarıçaplı ve dolayısıyla daha büyük ışıtmalıdır.



Şekil 5. SDB'lar için yörünge dönemi – ısıtma dağılımları (a) ve HR diyagramı (b). Semboller, Şekil 3 ile aynıdır.

DB ve SDB'lerin birinci ve ikinci bileşenlerinin kütle dağılımları, Şekil 6'da verilmektedir. Bu dağılımda, sadece birkaç sistem 0.25-1 M_{\odot} aralığında yer almaktadır. Bu tür sistemler, küçük ışıtmaya sahip geri tayf türünden oldukları için belirlenmeleri oldukça güçtür. DB'lerin birinci bileşenlerinin yaklaşık %70'lik bölümü 1-3 M_{\odot} aralığında yer alır. İkinci bileşenlerin dağılımına bakıldığında, birinci bileşenlerle oldukça benzer olduğu görülür. Bunlar da dağılımlarının maksimumunu 1-2 M_{\odot} aralığında yaparlar. SDB'ler ise kütle dağılımlarında DB'lere göre farklılık gösterirler. İkinci bileşenlerin kütlelerinin 2 M_{\odot} 'den daha küçük olduğu görülürken çoğunluk 0.21-1 M_{\odot} aralığında yer alır. DB ve SDB'lerin birinci bileşenlerinin kütle dağılımları tam olarak olmasa da benzerlik göstermektedir.



Şekil 6. Evrimleşmemiş DB'ler ile (a), evrimleşmiş SDB'lerin (b) birinci ve ikinci bileşenlerinin kütle dağılımları

Çift yıldızlarda kütle oranı (q), ikinci bileşenin kütlesinin birinci bileşene olan oranı ile verilir. DB'lerde ortalama kütle oranı 0.88 ± 0.14 ve bunun medyan değeri 0.92 yöresindedir. Bu da, evrimleşmemiş DB'lerin birbirine yakın özelliklerde bileşenlerden oluştuğunu göstermektedir. Diğer taraftan, yörünge dönemi 5 günden büyük olan SDB'ler için ortalama kütle oranı 0.22 iken, dönemi 5 günden küçük olanlar için bu değer 0.30'dır. SDB'lerin ortalama kütle oranları 0.27 ± 0.12 'dir. Bu sonuç, yakın çiftlerin evrimleri sırasında kütle aktarımının varlığını açıkça ortaya koyar. DB ve SDB'lerin birinci bileşenlerinin ortalama kütle değerleri sırasıyla, 3.6 ve $3.7 M_{\odot}$ olarak bulunur. İkinci bileşenlerde ise bu değerler, 3.1 ve $1.0 M_{\odot}$ yöresindedir.

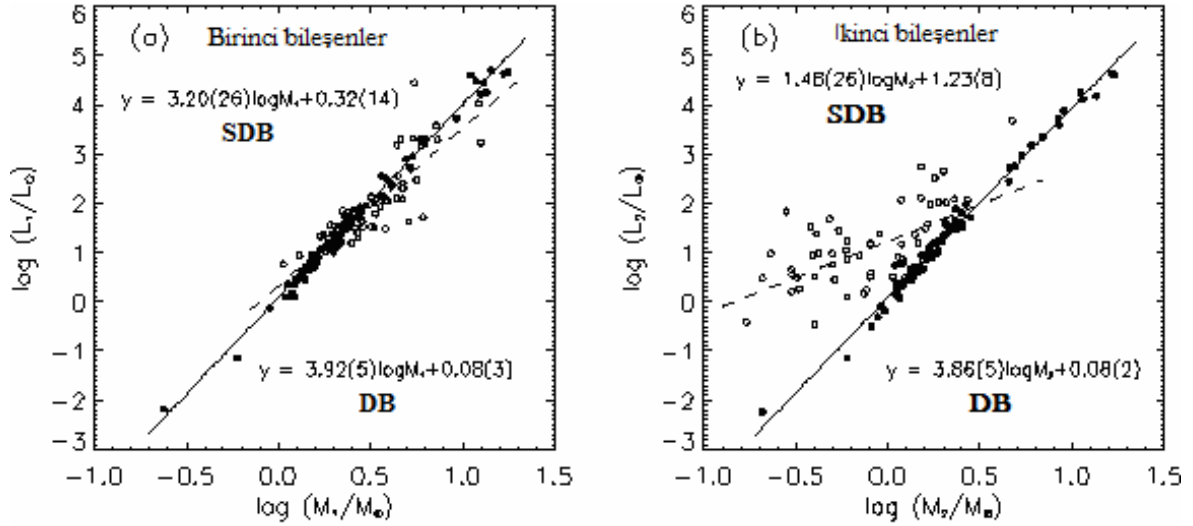
4. Kütle-Işıtma Bağıntısı

Çift yıldızların duyarlı fotometrik ve tayfsal gözlemleri ve sonucunda bulunan duyarlı salt parametreler, bir yıldızın kütlesi ve ışıması arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Buna, “*kütle-ışıtma bağıntısı*” veya kısaca MLR adı verilir. Bu bağıntı yaklaşık bir yüzyıldır bilinmekte (Hertzsprung 1923, Eddington 1926) olup sadece anakol yıldızları içindir. Üstel bir ilişkinin olduğu bu bağıntı şu şekilde tanımlanabilir:

$$L \propto M^a \quad \dots\dots\dots(1)$$

Burada a değeri genellikle 3-5 arasında yer alır. Buradan, bir yıldızın ışımasının kütlesine güçlü bir şekilde bağlı olduğu söylenebilir. MLR kullanılarak, küçük kütleli yıldızların anakolun sağ-alt bölümünde, büyük kütlelilerin sol-üst bölümde yer aldığı söylenebilir. Örtün çift dizgelere ilişkin en son türetilen MLR bağıntıları, Gorda ve Svechnikov (1998), Kovaleva (2000) ve Malkov (2003) tarafından yayınlanmıştır.

DB ve SDB’lerin birinci ve ikinci bileşenlerinin kütlelerine karşın ışıma dağılımları Şekil 7a ve b’de verilmektedir. DB’lerin birinci bileşenleri için $L_1 \propto M_1^{3.92(5)}$ (korelasyon katsayısı 0.99) iken, SDB’lerin birinci bileşenleri için bu ilişki $L_1 \propto M_1^{3.20(26)}$ (korelasyon katsayısı 0.72 değerine düşer) olarak bulundu. Bunu anlamı, DB’lerin birinci bileşenlerinin ışıtmaları, aynı kütledeki SDB’lerin ışıtmısından daha büyüktür. Diğer taraftan, her iki türün ikinci bileşenler için oluşturulan deneysel MLR ilişkisi birbirinden oldukça farklıdır. DB ve SDB’lerin ikinci bileşenleri için bu bağıntı sırasıyla, $L_2 \propto M_2^{3.86(5)}$ ve $L_2 \propto M_2^{1.48(26)}$ olarak bulundu. SDB’lerin ikinci bileşenlerinin ışıtmaları, DB’lerinki gibi kütleyle sıkıca bağlı değildir. Örneğin, 0.60 M_{\odot} kütleli bir ikinci bileşen, eğer DB’nin bileşeni ise ışıması 8 L_{\odot} olacak iken, eğer SDB’nin bileşeni ise ışıması sadece 0.17 L_{\odot} olacaktır. Bu ilişki de SDB’lerin ikinci bileşenlerinin aynı kütleli tek yıldızlara göre evrimleşmiş olduğunu gösterir. Şekil 5b’den de görüldüğü üzere, bu bileşenler dev veya alt-dev yıldızlardır.



Şekil 7. DB ve SDB'lerin birinci (a) ve ikinci (b) bileşenlerinin kütlelerine karşı ışıma dağılımları. İçi dolu daireler DB'lerin bileşenlerini gösterirken içi boş olanlar ise SDB'lerin bileşenlerini göstermektedir.

5. SDB'lerin Sıcak Bileşenlerinin Dönme Hızları

Konvektif veya ışınım zarflı yıldızlar için, yörüngelerinin daireye dönüşme (t_{circ}) ve bileşenlerinin eş-dönmeye ulaşma (t_{sync}) zaman ölçekleri karşılaştırıldığında, genellikle $t_{\text{circ}} \approx 10^{2-3} \cdot t_{\text{sync}}$ olduğu görülür (Hilditch, 2001). Genel bir ifade ile çift yıldızların yörüngelerinin daireye dönüşme zamanı, onların bileşenlerinin eş-dönmeye ulaşma zamanlarından 100–1000 kat daha uzundur. Bu durumda, eğer bir dizgenin yörüngesi dairesel ise, onun bileşenlerinin eş-dönmeye sahip oldukları söylenebilir.

Özellikle son yıllarda elde edilen yüksek çözünüme gücündeki tayf verileri ile çalışılması, çiftlerde bileşenlerin dönme hızlarının duyarlı olarak ölçülmesini sağlamıştır. Bu ölçümler, Algollerin sıcak bileşenlerinin genellikle eş-dönme hızından daha büyük hızlarla döndüğünü göstermektedir. Algollerin evrim durumları onların eş-dönmeye ulaşmış olmaları gerektiğini söylemektedir. Fakat gözlem sonuçları bunu doğrulamamaktadır.

Algollerin sıcak bileşenleri neden eş-dönmeden daha büyük hızlarla dönerler? Bunu iki nedeni olabilir: (i) Algoller, eş-dönmeye ulaşacak kadar yaşlı değildirler. Henüz hızlı kütle aktarımı evresini yeni geçmiş, genç dizgeler olduklarından sıcak bileşenler eş-dönme göstermezler. (ii) Algollerde kütle aktarımı süreci, ölçülen dönme

hızlarını ($v \text{ sini}$) etkilemektedir. Sıcak bileşen etrafında toplanan madde, yıldız yüzeyinin bir bölümünün görülmesini önleyecek ve ölçülen $v \text{ sini}$ değerlerine katkıda bulunacaktır. Başka bir deyişle, ölçülen $v \text{ sini}$ hızları, yıldızın ve etrafındaki toplanan maddenin $v \text{ sini}$ değerlerinin bileşkesi olacaktır.

Algollerin dikine hız ve ışık eğrilerinin analizleri, onların genellikle dairesel yörüngeye sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Çift yıldızların yörüngesi dairesel ise, yukarıda tanımlanan zaman ölçeklerine göre, onların bileşenleri daha önce eş-dönmeye ulaşmalıdır. Bu durumda, gözlemler sıcak bileşenlerin neden hızlı döndükleri açıklamak için geriye sadece ikinci neden, yani “kütle aktarımı ve toplanması” süreci kalmaktadır.

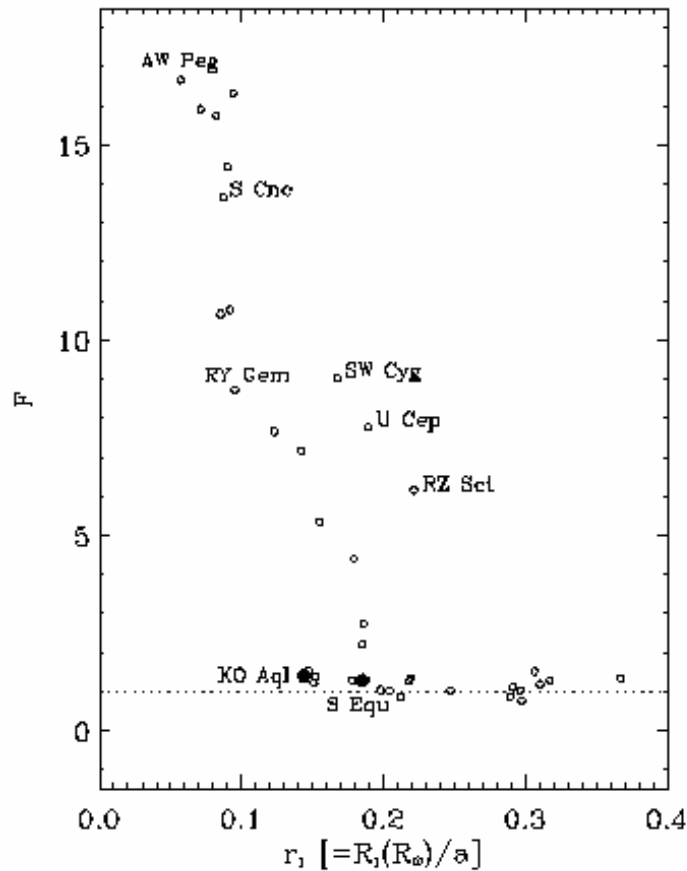
Algollerin sıcak bileşenlerinin hızlı dönmesi, kütle aktarımı ve toplanması için önemli bir belirteçdir. Algollere ilişkin özellikle H α çizgi kesiti çalışmaları ve Doppler görüntüleme yöntemi, toplanma yapıları veya diskleri ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Bu tür yıldızların $v \text{ sini}$ değerlerinin beklenenden büyük çıkması, $v \text{ sini}$ değerlerinin bu süreç için önemli bir kanıt olduğunu gösterir.

Algollerin sıcak bileşenlerinin $v \text{ sini}$ değerlerinin ölçümü ile ilgili önemli çalışmalar, van Hamme ve Wilson (1990), Etzel ve Olson (1993) ve Mukherjee ve ark. (1996) tarafından yapılmıştır. Algollerin sıcak bileşenleri için tayf verisi kullanılarak ölçülen ($v \text{ sini}$)_{gözlem} değerleri ile hesaplanan eş-dönme hızları - ($v \text{ sini}$)_{eş} ve onları hesaplamakta kullanılan parametreler Soydugan (2005) tarafından oluşturulan veri tabanında verilmektedir. Diğer parametreler ise Budding ve ark. (2004)'dan alınmıştır. Bunun yanında, çizelgeye ayrıca, eş-dönmeden ayrılmanın ölçüsü olan $F = (v \text{ sini})_{gözlem} / (v \text{ sini})_{eş}$ değerleri de hesaplanarak konulmuştur. Bu veri tabanında, kısa dönemli dizgelerin (akan madde doğrudan sıcak bileşen ile çarpışır) sıcak bileşenlerinin dönme hızlarının eş-dönme değerlerine çok yakın veya biraz üzerinde olduğu (genellikle $F \geq 1$) görülür. Buna karşın, uzun dönemli dizgelerin (genellikle akan madde sıcak bileşen etrafında kararlı toplanma diski oluşturur) sıcak bileşenleri ise oldukça yüksek dönme hızlarına sahiptir (eğer $P_{yör} > 6$ gün ise $F > 5$ olduğu görülmektedir).

Algollerde akan maddenin sıcak yıldızla çarpıştığı kısa dönemli dizgelerde (TW Dra, RZ Cas gibi), sıcak bileşenlerin dönme hızının eş-dönmeye yakın olması, akan maddenin sıcak yıldızın

fotosferinin derinliklerine doğru sızması ve dolayısıyla açısal momentumun da derin bölgelere dağıtılmasının sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bunun yanında, uzun dönemli dizgelerde (RS Cep, RX Gem gibi) karşılaşılan yüksek dönme hızlarının ise, aktarılan madde ve dolayısıyla açısal momentumun diskte biriktirilmesinin sonucu olduğu önerilmektedir (Olson ve Etzel, 1994).

SDB'lerin baş bileşenlerinin kesirsel yarıçaplarına karşın F dönme parametrelerinin değişimi Şekil 8'de gösterilmektedir. Küçük kesirsel yarıçaplı baş bileşenlerin eş-dönmeden oldukça fazla ayrıldıkları görülmektedir.



Şekil 8. Algoller için baş bileşenlerin kesirsel yarıçapına karşın F dönme parametresinin değişimi.

Özellikle $r_1 < 0.15$ olan dizgelerin büyük çoğunluğu için sıcak bileşenlerin eş-dönme değerine göre 5 kat daha hızlı döndükleri görülmektedir. Bu yüksek dönme hızına sahip dizgelerin hemen hepsinde de klasik toplanma diskleri belirlenmiş veya r_1 - q diyagramındaki konumları nedeniyle de kararlı disk yapısı oluşturmaları beklenmektedir. Bu durumda, özellikle toplanma diski

gösteren dizgelerde, sıcak bileşene ilişkin büyük bir alan disk tarafından örtüldüğünden disk yapısına özgü çok büyük dönme hızları ile karşılaşmaktadır. Bazı kısa dönemli dizgeler de etkin kütle aktarımı gösterdiklerinden benzer özelliklerdeki yıldızlara göre daha hızlı dönen baş bileşenlere sahiptirler (U Cep, SW Cyg gibi).

Algollerde gözlenen sıcak bileşenlere ilişkin yüksek dönme hızları, kütle aktarımının eşlik ettiği açısal momentum toplanmasının sonucu olarak gözlenmektedir. Bu durumda, kütle alan bileşenlerin dönme hızları, kütle toplanması sürecinin yanında açısal momentum evrimi ile ilgili de bilgi vermektedir.

6. Açısal Momentum

Son yıllarda, asteroitlerden gökadalara kadar farklı türlerdeki gök cisimleri için kütleye karşı açısal momentum (J) değişimleri incelenmiştir. Bu ilişki genellikle aşağıdaki şekilde verilir:

$$J = C M^b \quad \dots\dots\dots(2)$$

Burada C katsayı olup, cgs biriminde $10^{-8} - 10^{-13}$ arasında değişirken kuvvet terimi b ise 1.5-2 arasında yer alır. Yörünge açısal momentumu, dairesel yörünge için farklı biçimlerde yazılabilir:

$$J(A) = G^{1/2} q(1+q)^{-2} M^{3/2} A^{1/2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$J(A) = 8.88 \cdot 10^{49} q(1+q)^{-2} M^{3/2} A^{1/2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$J(P) = \left(\frac{G^2}{2\pi} \right)^{1/3} \frac{q}{(1+q)^2} M^{5/3} P^{1/3} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$J(P) = 1.24 \cdot 10^{52} q(1+q)^{-2} M^{5/3} P^{1/3} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Burada A , Güneş biriminde yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu, P gün biriminde yörünge dönemi, M_1 ve M_2 , birinci ve ikinci bileşenlerin Güneş biriminde kütleleri, M yine Güneş biriminde toplam kütle ve G evrensel çekim sabitidir.

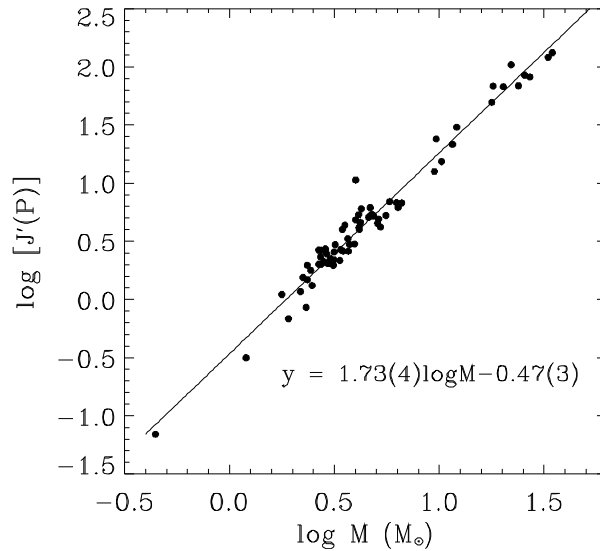
Buradaki hesaplamalarda, dönme açısal momentumu, yörünge açısal momentumu yanında küçük değerler aldığından ihmal edilmiştir.

6.1. Ayırık Sistemlerde Açısal Momentum

Ayrık dizgelerin salt öğeleri literatürden derlenip veri tabanı oluşturulduktan sonra (ayrıntılar için bakınız İbanoğlu ve diğ. 2006), bu dizgeler için yörünge açısal momentumları hesaplandı ve $J'(P) = J(P)/1.24 \times 10^{52}$ değerleri, dizgelerin toplam kütesine karşı çizildi (Şekil 9). Bu dağılıma en küçük kareler yöntemi uygulandığında aşağıdaki ilişki belirlendi:

$$\log J'(P) = 1.73 (\pm 0.04) \log M - 0.47 (\pm 0.03) \dots\dots\dots(7)$$

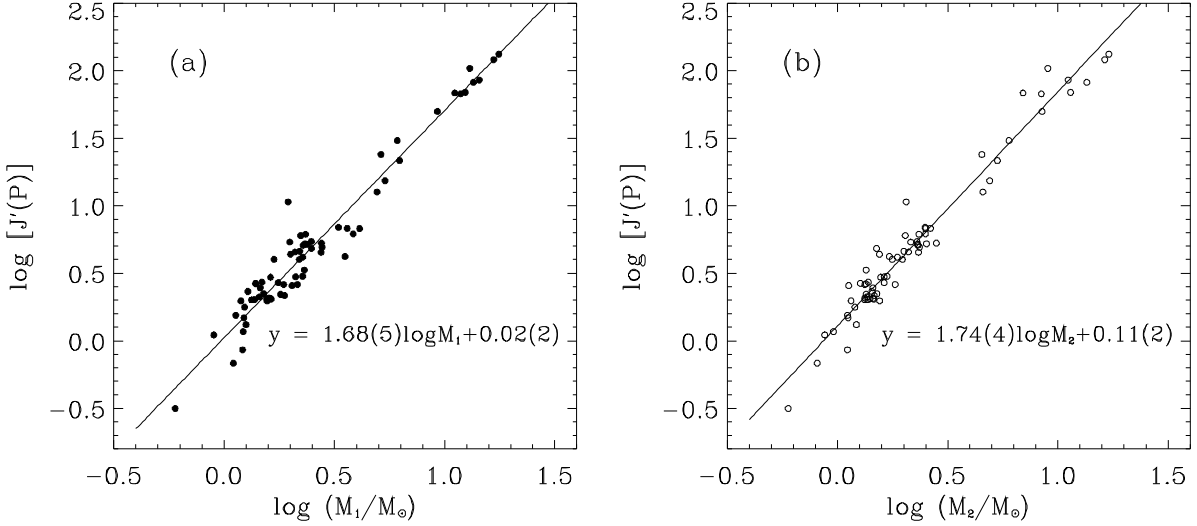
Bu türetilen deneysel ilişki, DB'lerin yörünge açısal momentumunun $M^{1.73}$ ile değiştiğini göstermektedir. Daha önceki çalışmalardan, Trimble (1984), bu değeri yörünge eğimi bilinen çift çizgili sistemler için 1.77 olarak bulurken, Sistero ve Marton (1983) ise 719 DB için, $J \propto M^{1.865}$ ilişkisini ortaya koydu. Quirago ve Vaz (1988) ise, aynı bağıntıdaki güç katsayısının ışınım zarflı yıldızlar için 1.82 iken konvektif olanlar için 1.96 yöresinde olduğunu ortaya koydu.



Şekil 9. Ayırık sistemlerin toplam kütlelerine karşılık yörünge açısal momentumlarının değişimi.

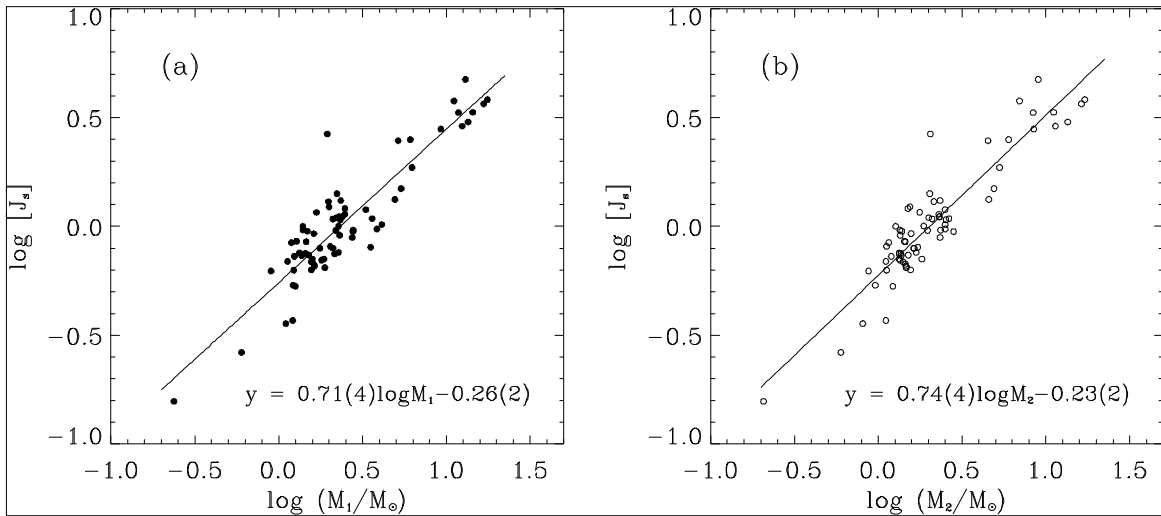
DB'lerin yörünge açısal momentumlarının tek yıldızlardan biraz daha büyük olup, değer gezegen yapıları ile gökadalara için hesaplanan

değerler arasında yer alır. DB'lerin birinci ve ikinci bileşenlerinin kütlelerine göre yörünge açısal momentum dağılımları ise Şekil 10'da verilmiş olup dağılımdaki fark göze çarpmaktadır.



Şekil 10. DB'lerin birinci (a) ve ikinci bileşenlerinin (b) kütlelerine göre yörünge açısal momentum dağılımları.

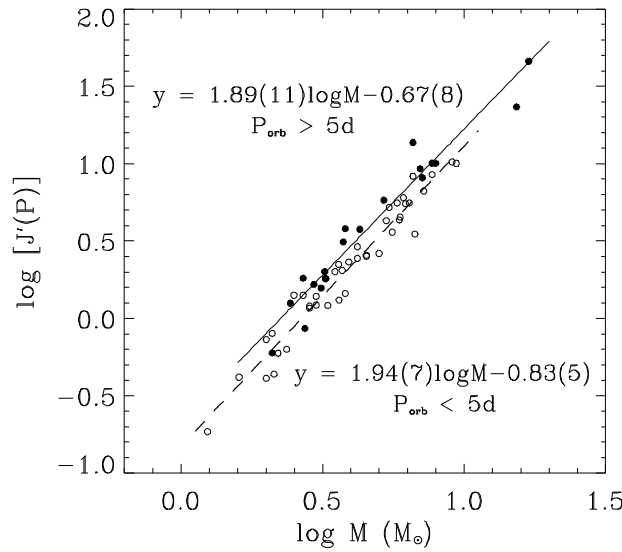
Diğer taraftan, yörünge açısal momentumun sistemin toplam kütlelerine bölünerek “öz açısal momentum (J_s)” şeklinde yeni bir tanım yapabiliriz. Bu J_s değeri, DB'ler için hesaplanıp yine birinci ve ikinci bileşenlerin kütlelerine karşılık çizildiğinde Şekil 11'de dağılım ortaya çıkmaktadır. Bu dağılımdan, öz açısal momentumun ikinci bileşenin kütlelerine birinciden daha sıkı bağlı olduğu söylenebilir.



Şekil 11. DB'ler için öz açısal momentumun birinci (a) ve ikinci (b) bileşenlerin kütlelerine göre dağılımları.

6.2. Yarı-Ayrık Sistemlerde Açısal Momentum

Yarı-ayrık dizgelerin açısal momentumlarının sistemlerin toplam kütlelerine göre dağılımları Şekil 12’de verilmiştir. Bu sistemlerde, eğer $P < 5-6$ gün ise, madde doğrudan kütle alan yıldızın yüzeyine çarpıp zayıf ve değişken toplanma yapıları oluştururken, $P > 5-6$ gün olan sistemlerde ise akan madde kararlı disk yapıları meydana getirir. Bu nedenle, burada SDB’lerin açısal momentum dağılımlarını $P < 5$ ve $P > 5$ gün olarak iki ayrı grupta incelenmiştir.

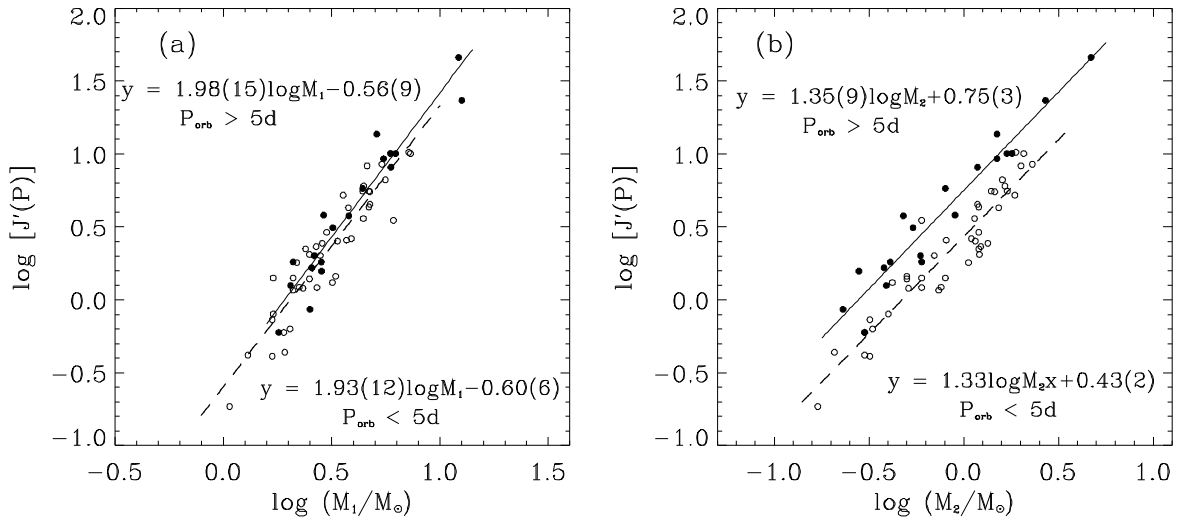


Şekil 12. Yarı-ayrık dizgelerin yörünge açısal momentumlarının sistemin toplam kütlelerine göre dağılımları.

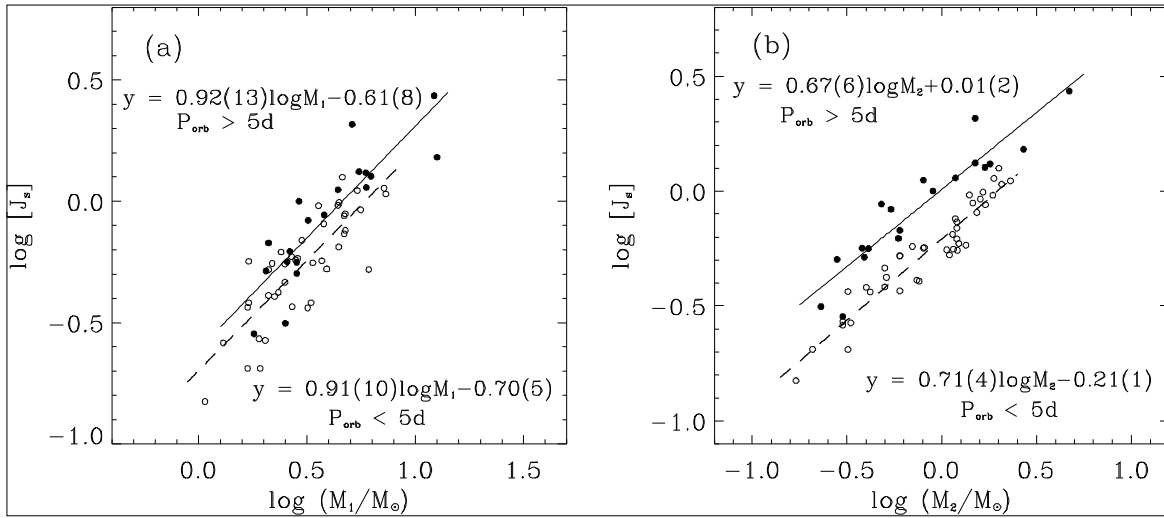
En küçük kareler yöntemi uygulanarak, SDB’lerin toplam kütlelerine karşın açısal momentum dağılımlarından, $P > 5$ gün dönemliler için $J'(P) \propto M^{1.89(11)}$ ilişkisi ve $P < 5$ gün dönemliler için $J'(P) \propto M^{1.94(7)}$ bulundu. Örneğin, $3 M_{\odot}$ bir toplam kütle için, $P < 5$ gün ve $P > 5$ gün SDB’lerin yörünge açısal momentumları sırasıyla, DB’lerden % 32 ve % 80 daha küçük bulunur. Şekil 13’te ise, SDB’lerin birinci ve ikinci bileşenlerinin kütlelerine göre toplam yörünge açısal momentum dağılımları verilmiştir.

Şekil 13’te verilen dağılımlarda, özellikle ikinci bileşenlerin kütlelerine göre toplam yörünge açısal momentum değişimine bakıldığında, aynı kütleli ikinci bileşene sahip bir dizge için, $P > 5$ gün olanların yörünge açısal momentumlarının $P < 5$ gün olanlardan iki kat daha büyük olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 14’te ise, öz açısal

momentumun (J_s), yine iki ayrı grup için bileşen kütlelerine göre değişimleri verilmiştir.



Şekil 13. SDB'lerin birinci (a) ve ikinci (b) bileşenlerinin kütlelerine göre yörünge açısal momentumunun değişimi.

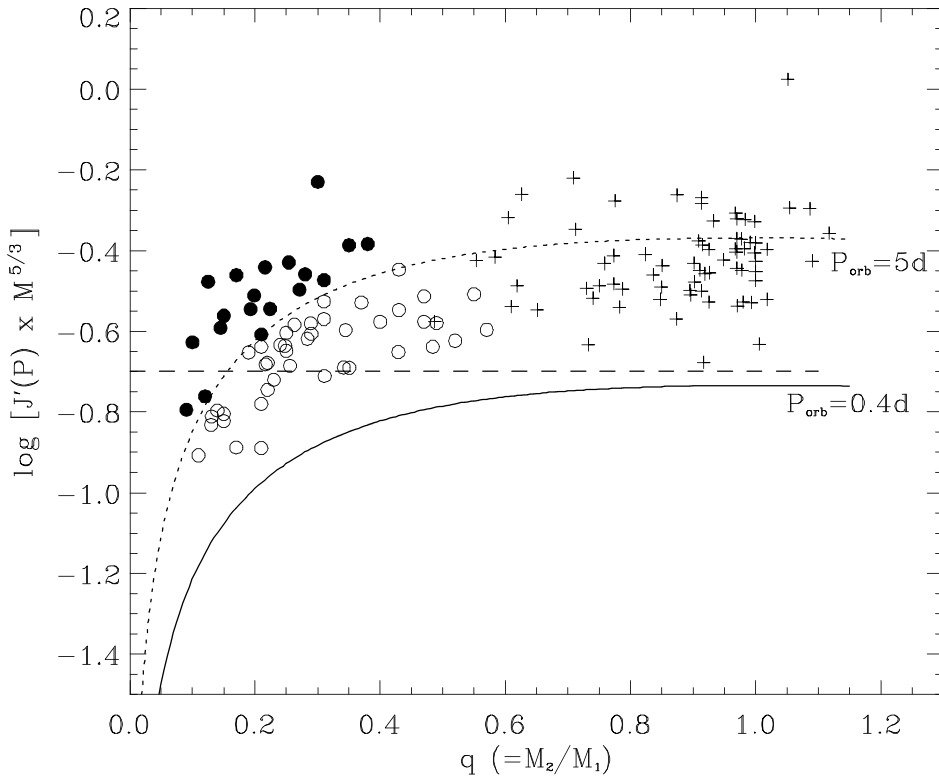


Şekil 14. SDB'lerin birinci (a) ve ikinci (b) bileşenlerinin kütlelerine göre öz yörünge açısal momentumunun değişimi.

Öz yörünge açısal momentumun, birinci bileşen kütlelerine göre değişimine bakıldığında, $P < 5$ ve $P > 5$ gün dönemliler için hemen hemen aynı dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Ancak kütle veren ikinci bileşenin kütlesine göre öz açısal momentum dağılımı, kısa ve uzun dönemli SDB'ler için oldukça farklıdır. Öz açısal momentumun

uzun dönemli sistemler için yaklaşık %65 kadar daha büyük olduğu açıktır.

Şekil 15’de ise, DB ve SDB’ler için her bir sistemin kütle oranına karşın $\log [q(1+q)^{-2} P^{1/3}]$ değişimi görülmektedir. Burada, y-ekseni aynı zamanda, $\log [J'(P)/M^{5/3}]$ değerine karşılık gelmektedir. Burada üç ayrı grup incelenmektedir. DB’ler maksimum kütle oranına sahip iken yörünge açısalları çok farklılık göstermez. Uzun ve kısa dönemli SDB’lerin kütle oranları birbirine yakın olmasına rağmen, kısa dönemlilerin açısalları en küçüktür. Şekilde, ayrı sistemlerden kısa dönemli dizgelere doğru bir açısallık evriminden söz edebiliriz.



Şekil 15. DB ve SDB’ler için $\log [q(1+q)^{-2} P^{1/3}] - q$ değişimi. Artı, içi dolu daireler, ve içi boş daireler sırasıyla DB’leri, $P > 5$ gün olan SDB’leri ve $P < 5$ gün olan SDB’leri göstermektedir. Sürekli ve noktalı çizgiler ise, sırasıyla $P = 5$ ve $P = 0.4$ gün yörünge dönemi için $\log [J'(P)/M^{5/3}] - q$ değişimini vermektedir. Kesikli çizgi ise, degen çiftleri DB ve SDB’lerden ayırır ki degen çiftler bu çizginin altında yer alırlar (bkz Hilditch ve diğ. 1988).

Diğer taraftan, değen sistemler, bu düzlemde kısa dönemli SDB'lerin altında yer almaktadır. Şekil 15 aynı zamanda, çift sistemlerin evriminin, uzun dönem ve büyük kütle oranlarından (yaklaşık 1) başladığını göstermektedir. Bileşenlerin nükleer evrimi sırasında, büyük kütleli bileşen Roche lobunu doldurur. Bileşenler arasında başlar ve evrim daha küçük kütle oranlarına doğru ilerler (Şekil 15'te ilerleme açısal momentum kaybının olmadığı varsayımı ile sağdan sola doğrudur). Kütle oranı yaklaşık 0.4 değerinden daha küçük olduğunda, sistemin açısal momentum kaybı hızla artar. Bu aşamada, büyük açısal momentum kaybı, sistemi diyagramda, aşağıya ve sola doğru sürükler. Eğer SDB'nin başlangıçtaki yörünge dönemi 5 günden küçük ise, sistem 5 günden daha uzun dönemlilere göre daha fazla açısal momentum kaybetmelidir.

7. Sonuçlar

Çift sistemlerin evrimlerine ilişkin bugün hala gizemini koruyan en önemli sorulardan biri, çift sistemlerin ayrıklardan, yarı-ayrıklara ve daha sonra değen sistemlere nasıl evrimleştikleridir. Klasik Algollerde, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru olan kütle aktarımı iyi modellenenmektedir. Fakat bileşenler arasındaki açısal momentum değişimi ve evrimi sırasında açısal momentum kaybının miktarı henüz anlaşılammıştır.

Çift sistemlerde açısal momentum kaybının üç mekanizma ile olabileceği önerilmektedir: (i) kütle kaybı, (ii) manyetik frenlenme ve (iii) çekimsel ışımaya. Aktarılan kütle ve dolayısıyla açısal momentumun, kütle alan bileşeni hızlandırması beklenir. Önceki bölümlerde gösterildiği gibi, klasik Algollerde özellikle uzun dönemli sistemlerin baş bileşenlerinin eş-dönmeden daha hızlı döndükleri bilinmektedir. Eğer çift sistemin bileşenlerinden biri kütle kaybederse, açısal momentum değişecektir. Güneş gibi manyetik etkinlik gösteren yıldızlarda manyetik frenleme olayı (yıldız rüzgarı ve manyetik alanının oluşturduğu etki), kilitli sistemler olduklarından sistemin açısal momentumunun değişmesine de neden olur. Weber ve Davis (1967), Güneş rüzgarını ele alarak açısal momentum kayıp oranının P^3 ile orantılı olduğunu ortaya koydu.

Diğer bir açısal momentum kayıp mekanizması, çekimsel ışınım ile ortaya çıkar. Ancak bu kaybın, çiftlerde açısal momentumu açıklaması çok olası görünmemektedir. Ancak bileşenlerden biri

nötron yıldızı veya kara delik veya bunlara yakın kütlede bir yıldız ise, bu mekanizma önemli açısal momentum kaybı ortaya çıkarır. Bu açısal momentum kayıp mekanizmalarının açısal momentum evriminde etkin olduğu, DB, SDB ve X-ışın çiftlerinin açısal momentumları karşılaştırdığında kendini göstermektedir. Bu farklı türlerin açısal momentum büyüklükleri karşılaştırıldığında, $J(\text{DB}) > J(\text{SDB}, P > 5 \text{ gün}) > J(\text{SDB}, P < 5 \text{ gün}) > J(\text{X-ışın çiftleri})$ olduğu görülmüştür (Saygan 2008).

Önceki bölümlerde çizilen diyagramlarda görüldüğü gibi, SDB'lerin ikinci bileşenleri alt-dev veya dev yıldızlar olup kütlelerinin büyük bölümünü büyük kütleli bileşene aktarır. Şekil 15'de, çiftin evrimi sırasında kütle oranı tersine döndüğü ve daha sonra küçüldüğü açıkça görülebilir. Kütle aktarımının hızlı olduğu bu süreçte, açısal momentum kaybı çok büyük değerlerde değildir. Açısal momentum kaybının büyük değerlere ulaştığı süreç, yavaş kütle aktarımı evresidir ki kütle oranı bu durumda genellikle 0.3-0.4 aralığındadır. Bunun yanında, $P < 5$ gün olan SDB'lerin ikinci bileşenleri uzun dönemliye göre daha fazla açısal momentum kaybeder. Eğer akan madde alıcı yıldız tarafından yakalanmaz ise, ortak zarf veya diskte birikir. Toplanma disklerinin çiftin evrimi üzerine etkisi kataklizmik çift yıldızlar için Spruit ve Taam (2001) ve Taam ve Spruit (2001) tarafından çalışılmıştır. Ayrıca, klasik Algollerde toplanma disklerinin, yörünge dönemi değişimlerini açıklamada önemli rol oynadığı belirtilmiştir (Chen ve diğ. 2006). Bu çalışmada, Algollerin evrim çizgisinde hem manyetik frenlemenin hem de toplanma disklerinin etkisi hesaplanmış ve Algollerin evriminin daha çok toplanma disklerinden etkilendiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, toplanma disklerinin kütle aktarım oranlarını arttırdığı ve evrimi hızlandırdığı sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

Barai, P., Gies, D. R., Choi, E., ve diğ., 2004, ApJ 608, 989.

Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Bulut, I., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Bakış, V. and Demircan, O., 2004, A&A 417, 263.

Chen, W.-C., Li, X.-D., Qian, S.-B., 2006, ApJ 649, 973

de Greve, J.P., 1993, A&AS 97, 527.

- Demircan, O., 2003, "Period Variation of Algol Type Binaries", in the Proceedings of the Astrophysics Workshop: New Directions for Close Binary Studies: The Royal Road to the Stars, eds. O. Demircan & E. Budding, Publ. of ÇOMÜ Astrophysics Research Center, Vol. 3, p.130.
- Drilling, J.S., Landolt, A.U., 2000, in Allen's Astrophysical Quantities, Fourth edition, ed. A.N.Cox, Springer-Verlag
- Eddington, A.S. 1926, The Internal Constitution of the Stars, Cambridge Uni. Press
- Etzel, P.B. and Olson, E.C., 1993, AJ 106, 1627.
- Giuricin, G.; Mardirossian, F., 1981, ApJS 46, 1
- Gorda, S. Yu., Svechnikov, M.A. 1998, Astron.Rep., 42, 793
- Hall, D.S., 1989, SSRv 50, 219.
- Hertzsprung, E. 1923, Bull. Astron. Inst. Neth. 2, No. 43
- Hilditch, R.W., 2001, "An Introduction to Close Binary Stars", Cambridge University Press.
- Hilditch, R.W., King, D.J., McFarlane, T.M., 1988, MNRAS 231, 341
- İbanoğlu, C., Soyduğan, F., Soyduğan, E. ve Dervişoğlu, A., 2006, MNRAS 373, 435
- Kaitchuck, R.H. and Honeycutt, R.K., 1982, PASP 94, 532.
- Kippenhahn, R., Weigert, A., 1967, Z. Astrophys. 65, 251
- Kovaleva, D.A. 2001, Astron.Z. 78, 1104
- Lazaro, C., Martínez-Pais, I. G., Arévalo, M. J., 2004, MNRAS 351, 707
- Lehmann, H.; Mkrtichian, D. E., 2004, A&A 413, 293.
- Lubow, S.H. and Shu, F.H., 1975, ApJ 198, 383.
- Malkov, O.Yu. 2003, AA 402, 1055
- Mkrtichian, D. E., Kusakin, A. V., Rodriguez, E., Gamarova, A. Yu., Kim, C., Kim, S.-L., Lee, J. W., Youn, J.-H., Kang, Y. W.; Olson, E. C.; Grankin, K., 2004, A&A 419, 1015.
- Mukherjee, J., Peters, G.J. and Wilson, R.E., 1996, MNRAS 283, 613.
- Nelson, C.A. and Eggleton, P.P., 2001, ApJ 552, 664.
- Olson, E.C. and Etzel, P.B., 1994, Interacting Binary Stars, ASP Conference Series, Vol. 56, 13.
- Paczynski, B. 1971, Ann.Rev. Astron. Astrophys. 9, 183
- Plavec, M., 1968, Adv. Astron. Astrophys. 6, 201
- Pols, O.R., Schroder, K.-P., Hurley, J.R. ve diğ., 1998, MNRAS 298, 525
- Popper, D.M., 1989, ApJS 71, 595.
- Qian, S., 2000, A&ASS 146, 377.
- Quirago, R.J., Vaz, L.P.R., 1988, ApSS 146, 99
- Retter, A., Richards, M.T. and Wu, K., 2005, ApJ 621, 417.
- Richards, M.T., Albright, G.E., 1999, ApJS 123, 537
- Richards, M.T., Jones, R.D. and Swain, M.A., 1996, ApJ 459, 249.
- Richards, M.T., Mochnacki, S.W. and Bolton, C.T., 1988, AJ 96, 326.
- Rodriguez, E., López-González, M. J. and López de Coca, P., 2000, A&AS 144, 469.
- Sarna, M.J., 1993, MNRAS 262, 534.
- Sarna, M. J., Muslimov, A., Yerli, S. K., 1997, MNRAS 286, 209.
- Saygan, S., 2008, Ege Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Simon, V., 1999, A&AS 134, 1.
Sistero, R.F., Marton,S.,1983, ApSS 94, 165
Soydugan, E., Soydugan, F., Demircan, O. ve İbanoğlu, C., 2006, MNRAS 370, 2013
Soydugan, E., 2005, Ege Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
Soydugan, F., 2008, AN 329, 587
Soydugan, F., 2005, Ege Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
Soydugan, F., Frasca, A., Soydugan, E. ve diğ., 2007, MNRAS 379, 1535
Spruit, H.C., Taam, R.E.,2001, ApJ, 548, 900
Taam, R.E., Spruit, H.C.,2001,ApJ, 561, 329
Trimble, V., 1984, ApSS 104,133
Van Hamme W. and Wilson, R.E., 1990, AJ 100, 1981.
Vesper, D., Honeycutt, K., Hunt, T., 2001, AJ 121, 2723.
Weber, E.J.,Davis,L.,1967, ApJ, 148,217
Yerli, S.K., Sarna, M. J., Zola, S., Connon S., R., Tovmassian, G., 2003, MNRAS 342, 1349.