

Yakın Çift Yıldızların Kökeni ve Evrimi: W UMa tipi Çiftler

Mutlu Yıldız¹★,

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

Özet

Çift yıldız bileşenlerinin ortaklaşa evrimi ve nihai durumu astronominin en gizemli konuları arasındaki yerini korumaktadır. W UMa tipi değen çift yıldızların gözlemsel verileri bu sistemlerin kökeni ve evrimi konusunda çıkarımlar yapabileceğimiz yüksek duyarlılığa sahiptir. Bu sistemlerde küçük kütleli ikinci bileşenlerin ışınımgücü ve yarıçapları kütlelerine göre çok fazladır. Literatürde bu durum için çeşitli sebepler öne sürülmüştür. Bu bildiride sunulacak yaklaşım ise diğerlerinden farklı olarak bu fazlalığı yıldızların başlangıç kütlelerinin şimdiki kütlelerden çok farklı olmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımla, bu sistemlerin bileşen yıldızları için başlangıç kütleleri, açısal momentum evrimleri ve yaşları hesaplanmakta ve analiz edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: (stars:) binaries (including multiple): close, İkili Yıldızlar

1 Giriş

Tek bir yıldızın yapısında kökten dönüşümler olabilmesi için nükleer yakıtının kaynağında bitmesi ve devreye başka unsurların girmesi gerekir. Çift yıldızlarda ise bileşenler sistemin açısal momentum kaybetmesinden dolayı birbirine sokuldukları için, nükleer evrimin dışında yeni kökten değişim araçları ortaya çıkar. Bu sürecin en belirgin özelliği bileşen yıldızların gerek birbirinin gerekse sistemin kütleli bir arada tutma yeteneklerini zayıflatmasıdır. Bu durumun ortaya çıkardığı dönüşümler inanılmaz bir yıldız çeşitliliği yaratmaktadır. Örneğin; tufani (kataklismik) yıldızlar, Be yıldızları, mavi avareler (blue stragglers, en azından bir kısmı), algoller, W UMa tipi çiftler vb. Bu yıldızların içerisinde temel parametrelerini en iyi bildiğimiz yıldızlar W UMa sistemlerindedir. Bileşenler birbirine çok yakın ve her ikisi de ana kol civarında olduğundan, tutulmalar derindir. Sistemin periyodunun da kısa olması gözlemsel olarak bir avantaj oluşturmaktadır. Bu tip yıldızlardan yaklaşık 100 çiftin temel özellikleri literatürde mevcuttur. Bu gözlemlerin en çarpıcı yanı küçük kütleli (ikinci) bileşenin kütlelerine göre çok parlak ve çok büyük görünmesidir. Bu durumu açıklama amacıyla çeşitli yaklaşımlar ortaya konmaktadır. En öne çıkan yaklaşım birinci bileşenden ikinci bileşene enerji aktarımı yapıldığı şeklindedir. Yakın zamanda Yıldız & Doğan (2013) yeni bir yaklaşımla ışınımgücü ve yarıçap fazlalığını başlangıçta büyük kütleli olan ikinci bileşenin özek yapısının hem M_2 hem de M_{2i} tarafından belirlenmesine bağladılar. Ve, bu ilişkilendirmeden giderek bileşenlerin başlangıç kütlelerini buldular. Bir kez bu kapı aralandıktan sonra bu ve benzeri sistemlerin açısal momentum evrimlerini, yaşlarını hesaplamamızın da yolu açılmış oldu (Yıldız 2014).

W UMa tipi değen çift yıldızların ikinci bileşenlerinin gösterdiği ışınımgücü ve yarıçap fazlalığının yanı sıra bir başka ilginç gözlemsel olgu da bileşen yıldızların etkin sıcaklıklarının birbirine çok yakın olmasıdır. Az da olsa, iki alt grup için bileşenlerin etkin sıcaklıkları arasında sistematik bir fark vardır. A alt tipinde birinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_{1e}) ikinci bileşeninkinden (T_{2e}) daha fazlayken, W alt tipinde tam tersidir. Literatürde bu alt tiplerin birbirinin evrimsel sonuçları olup olmadığına ilişkin tartışmalar vardır (Gazeas & Niarchos 2006; Eker et al. 2006;

Awadalla & Hanna 2005). Maceroni & van't Veer (1996)'e göreyse, A alt tipi ile B alt tipi arasında evrimsel bir bağlantı yoktur. Bizim yaklaşımımız da bu yönde, dahası bir W UMa adayı çift yıldızın hangi alt türe ait olacağı başlangıçtaki değerlere, özellikle de M_{2i} 'ye bağlı.

W UMa tipi yıldızlarda iki bileşen birbirine değmektedir, her iki bileşen de Roche kovuğunu doldurmuştur. Ayrık bir çift yıldız sisteminde bileşenlerden birisi bir süre sonra Roche kovuğunu dolduruyorsa bunun iki sebebi olabilir: birincisi, büyük kütleli bileşenin nükleer evrimi sonucunda yıldız çok büyür ve kovuğunu doldurur; ikinci durum ise bileşenlerden en azından bir tanesi açısal momentumunu etkili bir şekilde kaybettikçe yörüngenin ve Roche kovuğunun küçülmesine sebep olur. İkinci durumda bir bakıma yıldız Roche kovuğunu doldurmuyor, Roche kovuğu küçülerek yıldızı taşıyor.

Bu tür sistemlerde iki sürecin, adlarıyla söylersek nükleer evrim ve açısal momentumun kaybı süreçleri, arasındaki bir çeşit yarış söz konusudur. Nükleer evrim elbette büyük kütleli bileşen tarafından belirlenir, açısal momentum evrimini ise genellikle küçük kütleli (bazen de her ikisi) bileşen üstlenir. Bir çift yıldız sisteminin hangi alt tip olacağı belki de bu iki süreçten hangisinin galip geleceğine bağlıdır.

Yakın çift yıldızların her biri diğerinin kütleçekimi altındadır. Bunun dışında, ikinci bileşen aynı kütleli bir ana kol yıldızına göre çok parlakken birinci bileşen sıradan bir ana kol yıldız görünümü vermektedir (Yang & Liu 2001; Webbink 2003; Li et al. 2008). İkinci bileşenin ışınımgücü fazlalığının birinci yıldızdan yapılan enerji aktarımı ile gerçekleştiği yaklaşımı söz konusuysa da (Lucy 1968a,b; Webbink 2003; Li et al. 2008), değen çift yıldızların evrimi genel olarak pek bilinmemektedir. Hilditch et al. (1988)'e göre, W alt tipi değen yıldızların birinci bileşenleri ana kolda pek evrimleşmemişken, A alt tipi değen yıldızlar ölüm yaş ana kolu (ÖYAK) civarındadır.

2 Değen yıldızların fiziksel özellikleri ve enerji aktarım problemi

Çift yıldızların temel parametreleri elde etmenin en güvenilir yolu hem fotometrik hem de tayfsal verilerin kullanılması ile olur. Literatürde 100'den fazla W UMa tipi değen yıldızın yüksek duyarlılıkları bulmak mümkündür. Bu yıldızlar Yıldız & Doğan (2013) tarafından tablo halinde verilmiştir. Bu yıldızların birinci bileşenleri çok büyük oranda sıfır yaş ana kolu ile ölüm

★ mutluyildiz1@gmail.com

yaş ana kolu arasında bulunmaktadır. İkinci bileşenlerin kütlelerine göre yüksek ışıngücüne ve yarıçapa sahip olmaları bu yıldızların çok farklı yapı ve evrime sahip olduklarını gösterir. İkinci bileşenlerin ortalama kütleleri A alt tipi için $0.38 M_{\odot}$ ve W alt tipi için de $0.47 M_{\odot}$ 'tir. Bu kütledeki yıldızların tek bir yıldız olarak (ana kol) evrimi için gereken süre gökda yaşından kat ve kat fazladır.

Bu veriler kullanılarak, literatürde yer alan birinci bileşenden ikinci bileşene enerji aktarım yaklaşımı sınanabilir. Şöyle ki, eğer enerji aktarımı söz konusu ise ikinci bileşende gözlenen fazlalık ($\delta L_2 = L_2 - M_2^4$) birinci bileşende bir azlık ($\delta L_1 = L_1 - M_1^4$) şeklinde kendini göstermeli: $\delta L_2 = -\delta L_1$. δL_2 'yi δL_1 'karşı çizdiğimizde görüyoruz ki A alt tipi için kesinlikle böyle bir ilişki yoktur. W alt tipi için de genel olarak bir ilişki olmamakla birlikte çok küçük δL_1 ve δL_2 değerlerinde az sayıda yıldız için bir ilişki söz konusudur.

3 Bileşenlerin başlangıç kütle hesapları

3.1 Işıngücü fazlalığından ikinci bileşenin başlangıç kütle hesabı

Önce, ışıngücüne göre kütle (M_L) tanımı yapalım. Örneğin, ÖYAK yıldızları için, ışıngücü kütle ilişkisi

$$L = 1.49M^{4.216} \quad (1)$$

olsun (Yıldız 2015). Bu durumda

$$M_L = (L_2/1.49)^{1/4.216}. \quad (2)$$

Bizim yaklaşımımıza göre M_L ile M_2 arasındaki (ΔM) fark M_{2i} ile M_2 arasındaki farkla (δM) ilişkili olmalı: $\Delta M = f(\delta M)$. Bu durumda, başlangıç kütleleri

$$M_{2i} = M_2 + f(\delta M) \quad (3)$$

açıklamasından bulabiliriz. Böylece sorunu $f(\delta M)$ 'i bulmaya indirgemiş oluruz. Yıldız & Doğan yaptıkları MESA modellerinden (Paxton et al. 2011)

$$f(\delta M) = M_{2i} - M_2 = 2.50(\delta M - 0.07)^{0.64} \quad (4)$$

buluyorlar. İkinci bileşenlerin başlangıç kütleleri (M_{\odot} biriminde) ise

$$M_{2i} = M_2 + 2.50(\delta M - 0.07)^{0.64}. \quad (5)$$

Bu denklemi A ve W alt tiplerine uyguladığımızda çok ilginç bir sonuç çıkıyor. Bu alt tipler başlangıç kütleleri açısından birbirinden ayrılıyorlar. Ayrılcı kütle $1.8 \pm 0.1 M_{\odot}$ 'dir. A alt tipi bu ayrılcı kütle üstünde ($M_{2i} > 1.8 M_{\odot}$), W alt tipi ise altında yer almaktadır ($M_{2i} < 1.8 M_{\odot}$). Bir kaç istisnanın dışında, bu sonuç bütün W UMa tipi degen yıldızlar için geçerlidir.

İkinci bileşenlerin büyük çoğunluğunun kütleleri $1.3-2.2 M_{\odot}$ aralığındadır.

3.2 Birinci bileşenin başlangıç kütle hesabı

Değen yıldızların evrimi açısından en belirsiz noktalardan birisi de ikinci bileşenin birinci bileşene kütle aktarımının kütle korunumlu olup olmadığıdır. Çoğu irdelemede kütle korunumu varsayılması herhangi bir belirti olduğundan değil daha iyi bir şey konulamamasından kaynaklanmaktadır. Ancak, ikinci bileşenin başlangıç kütlelerini hesaplayabildiğimize göre şimdi daha iyisini yapabiliriz.

Başlangıçta toplam kütle M_{Ti} , şimdiki toplam kütle de M_T

olsun. Kaybedilen kütle de ($M_{kayıp}$) gözönünde tutarsak

$$M_{Ti} = M_T + M_{kayıp} = M_{2i} + M_{1i} = M_2 + M_1 + M_{kayıp} \quad (6)$$

olur. Buradan da

$$\begin{aligned} M_{1i} &= M_1 - \Delta M + M_{kayıp} \\ &= M_1 - \Delta M \left(1 - \frac{M_{kayıp}}{\Delta M}\right) \\ &= M_1 - \Delta M(1 - \gamma) \end{aligned} \quad (7)$$

buluruz, $\gamma = M_{kayıp}/\Delta M$ olmak üzere. γ için doğrudan kısıt oluşturamayız ancak başlangıçtaki kütle oranını ($1/q_i = M_{1i}/M_{2i}$) sınırlandırabiliriz. Başlangıçta $M_{2i} > M_{1i}$ olmalı ki ikinci bileşen daha hızlı evrimleşip Roche kovuğunu doldursun. Bu durumda $0 < 1/q_i < 1$ aralığında olmalı. Bütün sistemler için tek bir γ olduğunu varsayarsak (en azından A alt tipi için geçerli gibi), $1/q_i$ 'yi bu aralıkta tutan $\gamma = 0.664$ değerini buluruz. Bu da şu demek oluyor, kütle aktarımının korunumlu olması bir tarafa ikinci bileşenin kaybettiği kütle büyük kısmı (üçte ikisi) sistemin dışına kaçıyor.

γ 'nın bu değerini kullanarak denklem (7)'den birinci bileşenin kütlelerini bulabiliriz. Bulunan kütleler $0.2-1.5 M_{\odot}$ aralığındadır (HV UMa ve V376 And sistemleri hariç). Bu kütle aralığı aynı zamanda manyetik frenlemenin açıl momentum kaybında etkili olduğu aralıktır (Tutukov et al. 2004). Birinci bileşenlerin ortalama başlangıç kütleleri A alt tipi için $0.99 M_{\odot}$, W alt tipi için de $0.84 M_{\odot}$ 'tir.

Bazı W alt tipi sistemlerde $1/q_i > 1$ çıkmaktadır. Bu sistemlerde δM çok küçüktür. δM ne kadar küçükse $1/q_i$ de 1'den o kadar büyük çıkmaktadır. Az sayıdaki bu sistemler için de düzeltme yapılarak başlangıç kütleleri hesaplanmaktadır (bkz. Yıldız & Doğan'da Bölüm 4.3).

Birinci ve ikinci bileşenlerin başlangıç kütleleri için belirsizlik hesaplarının nasıl yapıldığı Yıldız & Doğan (2013)'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

4 W UMa'nın yaşı ve açıl momentum evrimi

Tek, yalıtılmış yıldızların yaş hesabında da çeşitli zorluklar vardır. İç yapı modellerinden yaş bulma yoluna başvuracak hem kütlelerin hem de kimyasal içeriğinin bilinmesi gerekir. Asterosismolojinin vaatleri bu konuda ihtiyacımızı karşılayacak yeterlikte görünüyor. Kütle transferi yapmış degen yıldızlarda yaş hesabı ise, yazarın bilgisine göre daha önce denenmiş bile değil. Yıldız (2014) ilk kez bu amaç için bir yöntem geliştirdi. Burada, bu yöntem (A alt tipi sistemler için olanı) kısaca anlatılacaktır. Önce bir soruya yanıt veremeye başlayalım. Bir W UMa sisteminden bileşenleri ayırarak olsak, ikinci bileşenin ömrünü üç kütle (M_{2i} , M_2 ve M_L) hangisi belirler? Yanıt, şu olabilir, ışıngücünü M_L belirlediğine göre yaşı da M_L belirlemeli.

Değen bir sistemin üç farklı süreci olmuştur. Bir sistemin yaşı da bu üç sürecin, ayrılcı (t_D), yarı ayrılcı (t_{SD}) ve degen (t_{CB}) olarak geçen sürelerin toplamıdır:

$$t = t_D + t_{SD} + t_{CB}. \quad (8)$$

Ayrılcı süreçte geçen süreyi, en azından A alt tipi için, M_{2i} kütleli bir yıldızın ana kol ömrü olarak hesaplayabiliriz. Yarı ayrılcı süreçte başında ikinci bileşenin kütleleri M_{2i} iken şu andaki evrimi belirleyen kütle olarak M_L 'ye düşmüştür. Dolayısıyla bu iki süreci kontrol eden "evrimsel kütle" bu iki kütlelerin ortalaması ($\overline{M_2}$) olarak alınabilir:

$$\overline{M_2} = \frac{M_{2i} + M_L}{2}. \quad (9)$$

Bu durumda, A tipi değen çiftler için

$$t_{SD} + t_{CB} \approx t_{MS}(\overline{M_2}). \quad (10)$$

Bu yöntemle A alt tipi sistemler için yaş hesabı yapılabilir. Yıldız (2014)'te bu yaşlar listelenmiştir. Bu yaşların ortalaması 4.37 milyar yıldır. Bilir ve ark. (2005) kinematik yöntemlerle A tipi yıldızların ortalama yaşını 4.48 milyar bulmaktadır. İki yaş değeri beklenmedik ölçüde birbirine yakındır.

Benzer fakat biraz farklı bir yolla W alt tipi sistemler için de yaş hesabı Yıldız (2014) tarafından yapılmaktadır. Bulunan sonuç yine kinematik yoldan bulunan ortalama yaş ile çok uyumludur.

Açısal momentum hesabı iki aşamada yapılabilir. Birincisi, ilk taşım anıdır. Bu aşamada ikinci bileşen bir ÖYAK'daki yıldız olarak (A alt tipi) Roche kovuğunu doldurduğuna göre, bileşenler arasındaki uzaklığı Eggleton (1983) tarafından üretilen açıklama kullanılarak bulunabilir. İlk taşımından bugüne açısız momentum kayıp (dJ/dt) hızı $M_{2i}^4 M_{1i}^{0.82}$ ile doğru orantılıdır. İkinci aşama ise gözlenen ayrıık sistemlerin açısız momentumları ile kıyaslanarak hesaplanabilir. Ayrıık sürecin (hemen hemen) başlangıcından sonuna (ilk taşım) kadar açısız momentum kayıp hızı ise sadece birinci bileşen kütlelerinin 1.5 kuvveti ile orantılıdır. Bu sonuç çok anlamlıdır çünkü açısız momentumu esas olarak bu bileşen dış uzaya üfleemektedir.

Yıldız (2014) tarafından hesaplanan ayrıık süreçteki açısız momentum kayıp miktarları Stępień (2006) ile Demirçan ve ark. (2006) tarafından bulunanlarla oldukça uyumludur.

5 Sonuç

Yakın zamanda değen çift yıldızların yapısı ve evrimi üzerine çok önemli gelişmeler oldu. Yıldız & Doğan (2013) ve Yıldız (2014) çalışmalarını bu kapsamda değerlendirebiliriz. İlk çalışmada, ikinci bileşenlerin başlangıç kütleleri ışınımgüçlerindeki gözlemsel fazlalıktan bulunmaktadır. Bulunan kütlelerin büyük bir kısmı 1.3-2.2 M_{\odot} aralığındadır. Dahası W UMa ların alt tipleri birbirinden ayrıışmaktadır. A alt tipi için $M_{2i} > 1.8 M_{\odot}$, W alt tipi içinse $M_{2i} < 1.8 M_{\odot}$. Bu ayrıışma bu alt tipler için elde edilen yegane ayrıışmadır. Birinci bileşenlerin kütleleri ise 0.2-1.5 M_{\odot} aralığında bulunmaktadır. Bu kütle aralığı tam da manyetik frenlemenin açısız momentum kaybında etkili olduğu kütle aralığıdır. Elde edilen sonuçlar çok tutarlıdır. Başlangıçta, ayrıık süreçte, büyük kütleli ikinci bileşen nükleer evrimi, kütlesi 1.5 M_{\odot} 'ten küçük olan birinci bileşen ise açısız momentum evrimini belirlemede ve sistem sonunda değen bir sistem olmaktadır.

Değen sistemler üzerine ikinci çalışmada ise, Yıldız (2014) bu sistemlerin yaşlarını ve açısız momentum kayıp sistemlerini hesaplayarak bu sistemlerin başlangıç yörünge parametrelerini elde etmektedir. Elde edilen sonuçlar başka yöntemlerle elde edilen literatür değerleriyle uyumlu çıkmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 112T989 nolu proje kapsamında kısmen desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Awadalla, N.S., Hanna, M.A., 2005, J.Korean Ast. Soc., 38, 43
 Bilir S., Karataş Y., Demirçan O., Eker Z., 2005, MNRAS, 357, 497
 Demirçan O., Eker Z., Karataş Y., Bilir S., 2006, MNRAS, 366, 1511
 Eggleton P.P., 1983, ApJ, 268, 368
 Eker, Z., Demirçan, O., Bilir, S., Karataş, Y., 2006, MNRAS, 373, 1483
 Gazeas, K.D., Niarchos, P., 2006, MNRAS, 370, L29

- Li, L., Zhang, F., Han, Z., Jiang, D., Jiang, T., 2008, MNRAS, 387, 97
 Hilditch R.W., King D.J., McFarlane T.M., 1988, MNRAS, 231, 341
 Lucy, L.B., 1968a, ApJ, 151, 1123
 Lucy, L.B., 1968b, ApJ, 153, 877
 Maceroni, C., van't Veer, F., 1996, A&A, 311, 523
 Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., Herwig, F., Lesaffre, P., Timmes, F., 2011, ApJS, 192, 3
 Stępień K., 2006, Acta Astron., 56, 347
 Tutukov, A.V., Dremova, G.N., Svechnikov, M.A., 2004, Ast.Rep., 48, 219
 Webbink, R.F., 2003, in Turcotte, S., Keller, S.C., Cavallo, R.M., eds, ASP Conf. Ser., 293, 76, 3D Stellar Evolution
 Yang, Y., Liu, Q., 2001, AJ, 122, 425
 Yıldız M., 2015, RAA, kabul edildi
 Yıldız, M., 2014, MNRAS, 437, 185
 Yıldız, M., Doğan, T., 2013 MNRAS, 430, 2029
 Yıldız M., Kızıloğlu N., 1997, A&A, 326, 187

Erişim:

013-1430: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A](#).