

BİRİ EVRİMLEŞMİŞ YAKIN ÇİFT YILDIZLAR İLE İLGİLİ KURAMSAL BİR ÇALIŞMA

Tuncay DOĞAN¹, Mutlu YILDIZ²

Özet

Bu çalışmada, Yakın Çiftlerin doğasını anlamada kritik bir öneme sahip olan Değen Çift dizgelerdeki ikinci bileşenlerin yapısı üzerinde durulmuştur. Bu ikinci bileşenlerin ışıtmalarının kütlelerine göre çok fazla olması, yapısal olarak açıklanması gereken temel problemlerden biridir.

Değen Çift dizgeler üzerine çok fazla araştırma yapılmış olmasına karşın, tüm gözlemsel özellikleri sağlayan değen bir modeli oluşturulamamıştır. Bu problemten hareketle, değen dizgelerin yapısal ve evrimsel olarak daha iyi anlaşılabilmesine katkıda bulunmak amacıyla, ikinci bileşenlerin kütle kaybı/aktarımı nedeniyle özek koşullarının yıldızın başlangıç kütlelerine bağlı olduğu yaklaşımına dayanan yıldız içyapı modelleri yapılmıştır. Bu modellerde, bileşenler arası olası enerji aktarımı göz ardı edilmiştir. Elde edilen model sonuçlarının, Değen dizgelerdeki ikinci bileşenlerin gözlemsel özellikleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yakın çift yıldızlar, Değen Çift Yıldızlar; *W UMa*; Kütle aktarımı/kaybı; Yıldız evrimi; Model.

Abstract

In this study, the structure of the second components of Contact Binaries, which has a critical importance for understanding of the nature of Close Binaries, was studied. These stars have very large luminosity according to their mass and this fundamental problem needs to be explained structural.

Despite the many investigations of Contact systems, there is no constructed contact models of *W UMa* systems that satisfy all the observational constrains. Along the purpose, to understanding of contact systems structural and evolutionary, we made some models which was constructed on approach that core conditions of the second components are similar like initial mass of star due to mass loss/transfer. The energy transfer between components was not taken into account in the models.

Obtained model results show significantly good agreement with observational properties of the second components of *W UMa*-type systems.

Keywords: *W UMa*-type binary systems, Contact binary stars, Close binary stars, Mass transfer, Mass loss, Model.

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova/İzmir, 0232 3884000, tdogan@mail.ege.edu.tr

² Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova/İzmir, 0232 3884000, mutlu.yildiz@mail.ege.edu.tr

1. Giriş

Yıldızların açısal momentum evrimi, kütle kaybı ve aktarımı gibi fiziksel olgular Değen çift yıldızlar (ışık eğrisine göre yapılan sınıflamada W UMa türü olarak da adlandırılır), yarı-ayrık çift yıldızlar, aktivite gösteren çift yıldızlar gibi geniş bir aralığı kapsayan yıldızlar için yapısal ve evrimsel sonuçları olan önemli süreçlerdir [1]. Yakın çift yıldızlarda gerçekleşmekte olduğu bilinen kütle kaybı olguları da, yıldızların şu anki gözlemsel özelliklerini, evrimlerini ve açısal momentum evrimini belirleyici niteliktedir. Ancak kütle kaybı miktarının hesaplanması, henüz, belli varsayımlar altında olanaklıdır. Yakın çift dizgelerde ise durum, genelde bir bileşenden diğerine kütle aktarımı olarak değerlendirilmektedir, yani toplam açısal momentumun korunduğu varsayılmaktadır. Bu durumda da, kütle veren ve alan bu yıldızların, kütle kaybettikten ya da kütle aldıktan sonraki evrimlerinin nasıl olacağına belirlenebilmesi önem kazanmaktadır. Buradaki çalışmada da özellikle, Değen çift dizgelerdeki hala kütle aktaran ya da geçmişte aktarmış olan ikinci bileşenler üzerinde durulacaktır.

Çift yıldızların sınıflanması ile ilgili var olan problemlere bu çalışma kapsamında değinilmemiştir. Özellikle yakın çiftlerin sınıflandırılmasında Roche geometrisi ya da ışık eğrisinin kullanılması sonucu meydana gelen karışıklık, temel olarak yakın çiftlerin evrimine açıklık getirme başarısı gösterememiştir. Dolayısıyla burada bu sınıflama farklılıklarına değinilmeden, değen dizgelerin ikinci bileşenleri incelenmiştir.

Değen dizgelerde açısal momentumun korunmadığı durumlar değerlendirildiğinde, açısal momentum kaybının üç farklı yol ile gerçekleşmekte olduğu önerilmektedir [2]:

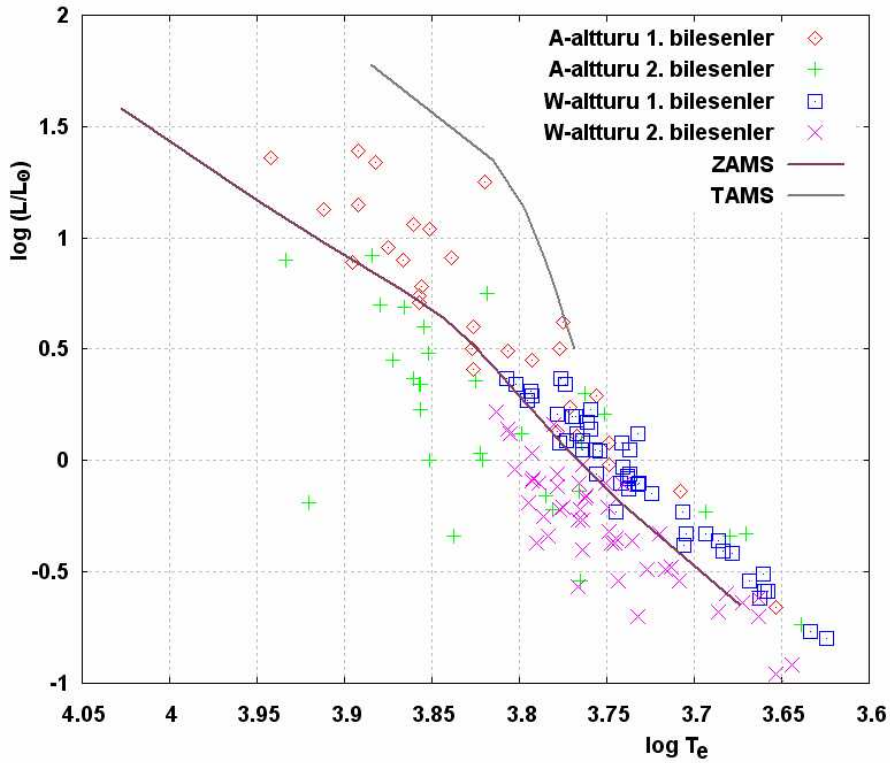
- L_2 (Lagrange 2) noktasından kütle kaybı ile (dış Roche lobunun dolması),
- Manyetik yıldız rüzgârları ile (manyetik frenleme),
- Kütleçekimsel ışıma ile.

Kütle kaybının, baskın olarak manyetik rüzgârlar ile olduğu kabul edilir [2]. Nedeni ise, Değen türü dizgelerin oluşumu ve evrimi için önerilen senaryoların/modellerin genellikle dönemsal salınımlar (periodic oscillation) öngörmesidir. Buna göre; bu tür çift dizgelerin, ömürlerinin bir kısmını değen olarak, bir kısmını da yarı-ayrık olarak ve sonra da bu durumun tekrarlanması ile çevrimsel değişim gösterdikleri önerilir [2].

Bu çalışma kapsamında ilgilenilen yakın çift yıldızlarda ve özellikle Değen-türü dizgelerde kütle aktarımı ve açısal momentum evrimi, bu dizgelerin kendilerine has olan özelliklerinin şekillenmesinde ana etkenlerdir. Çünkü Değen dizgelerde, özellikle kütle veren ikinci bileşenin ışıması ile ilgili hala çözümlenmemiş problemler söz konusudur, ikinci bileşenlerin kütlelerine göre ışıtmaları oldukça fazladır. Buna göre, burada önerilen olası açıklama kısaca şöyledir: Değen dizgelerinde, ikinci bileşen yıldızdan birinci bileşen yıldızdan önceden gerçekleşmiş ya da hala gerçekleşmekte olan kütle aktarımı söz konusu olduğundan, başlangıçta ikinci bileşenin kütlesi daha fazla olmalıydı ki şimdi büyük kütleli olan yıldızdan daha çabuk evrimleşmiş olsun. Bu demektir ki, ikinci bileşenin merkezindeki fiziksel koşullar yıldızın şimdiki kütlesine bağlı olduğu kadar (hatta daha fazlası), başlangıçtaki kütlesinin ne olduğuna da bağlıdır. Demek ki, bu doğrultuda önerilen açıklama, ikinci bileşenin gözlemsel özelliklerinin (ışıması, sıcaklığı gibi), kimyasal içeriğinin, şu anki özek koşullarının başlangıçta büyük kütleli olan öncül yıldızın (kütle aktarımından önceki) özek koşullarına çok benzediği varsayımına dayanmaktadır. Ancak, yıldızların özek bölgelerini doğrudan gözlemleyemediğimizden, yapılan yıldız modelinin sonuçları, sıcaklık, ışıma gibi gözlemlenen nicelikleri ile karşılaştırılarak dolaylı olarak test edilmiştir.

2. Değen Çift Dizgeleri: Alt türler ve Genel Özellikleri

Net bir şekilde Değen çiftleri A-türü ve W-türü olarak ikiye ayrılır. Sınırlı sayıda araştırmacı tarafından, A ve W alt türlerine ek olarak, H ve B alt türleri de önerilmektedir [3]. A ve W olarak yapılan ayırım gözlemsel HR diyagramı ($\log T_e - \log L/L_\odot$) ve kütle-ışıtma ($\log M/M_\odot - \log L/L_\odot$) diyagramında da çok açık bir şekilde görülmektedir (bkz. Şekil 2.1 ve 2.2). Bu nedenle, daha çok W ve A alt tür ayırımı üzerinde durulacaktır. A, W, B ve H alt tür ayırımları kısaca şöyledir: **A-alt türü**; dizgedeki büyük kütleli bileşen daha sıcak, **W-alt türü**; dizgedeki küçük kütleli bileşen daha sıcak, **B-alt türü**; dizgedeki bileşenler arasındaki sıcaklık farkı 1000K'den daha fazla ve **H-alt türü**; bileşenleri A, W ve B alt türlerin sahip oldukları etkin sıcaklıklara benzer ancak kütle oranı q 'nın 0.72'den büyük olduğu dizgelerdir. Özellikle H-alt tür ayırımının yapılmasının nedeni; ışııtma oranları ile kütle oranları arasındaki ilişkinin H-alt türlerinde, diğer alt türlere göre farklı olmasıdır [3]. Burada da, özellikle HR diyagramında ve kütle-ışıtma diyagramında daha belirgin olan W-alt türü ve A-alt türü ayırımları üzerinde durulmuştur.



Şekil 2.1 Değen dizgeleri; A-alt türü, W-alt türü, birinci bileşenler ve ikinci bileşenler olarak ayrı ayrı HR-diyagramında işaretlenmiştir, veriler [4]'ten alınmıştır. Ayrıca, teorik ZAMS ve TAMS eğrileri de şekilde gösterilmiştir, veriler [5]'ten alınmıştır.

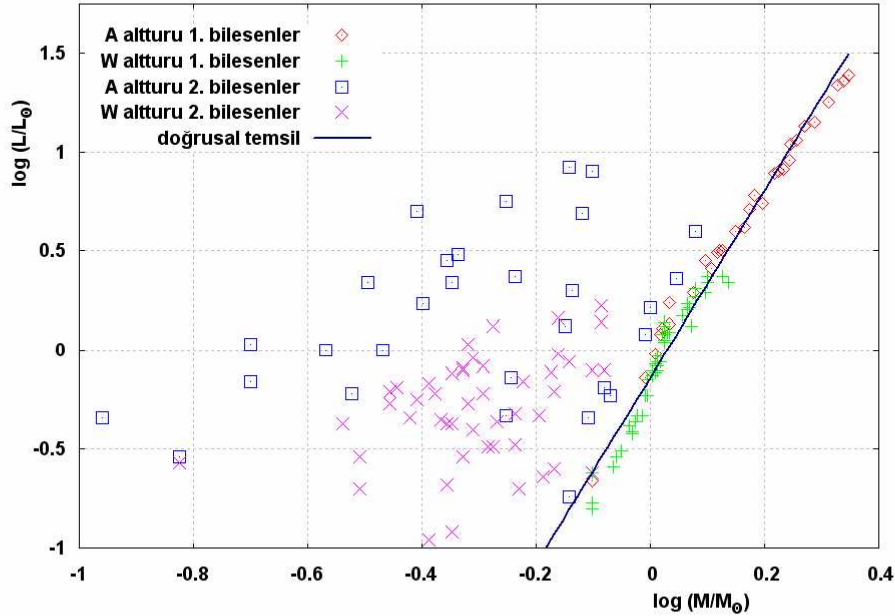
Değen dizgelerin HR diyagramındaki dağılımlarını incelersek (Şekil 2.1), A-alt türü ve W-alt türü ayırımı açık olarak görülebilir. Ayrıca, HR diyagramında birinci ve ikinci bileşenlerin de birbirilerinden ayrıldıkları göze çarpmaktadır. Şekil 2.1'de, baklava dilimi, A-alt türü birinci bileşenleri; artılar, A-alt türü ikinci bileşenleri; kareler, W-alt türü birinci bileşenleri; çarpılar, W-alt türü ikinci bileşenleri; kalın koyu çizgi, ZAMS (Zero Age Main Sequence) çizgisi; gri çizgi ise, TAMS (Terminal-Age Main Sequence) çizgisini işaret etmektedir. Birinci bileşenler anakolda yer alırken, ikinci bileşenler daha çok anakolun alt bölgelerinde toplanmıştır. Dikkat edilirse, artı ile gösterilen A-alt türü ikinci bileşenlerden anakol üzerinde olanları da vardır.

Anakol yıldızları için geçerli olduğunu bildiğimiz kütle-ışıtma ilişkisinin Değen dizgelerdeki bileşenler için ayrı ayrı geçerli olup olmadığına dair daha ayrıntılı inceleme için dizgedeki birinci ve ikinci bileşenlerin Güneşinkilere oranları kullanılarak kütle-ışıtma grafiği oluşturulmuştur (Şekil 2.2). Bu grafikte, incelediğimiz Değen dizgelerdeki ikinciler için bir kütle ışıtma bağıntısından söz etmek olası görülmez iken, birinciler için durum farklıdır. Şekil 2.2'den, birincilerin kütle ışıtma bağıntısı:

$$\log L_1/L_o = (4.717 \pm 0.089) \log M_1/M_o - (0.138 \pm 0.012) \quad (1)$$

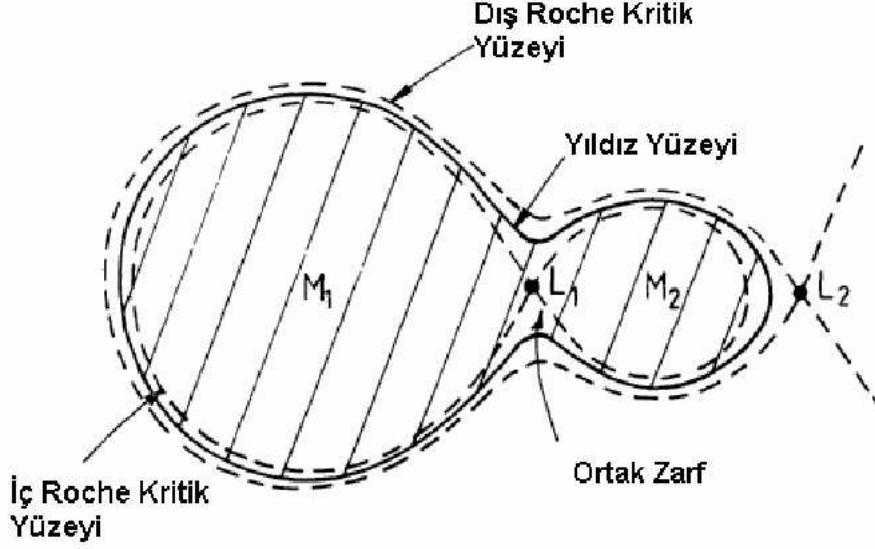
$$\Rightarrow \frac{L}{L_o} \propto \left(\frac{M}{M_o} \right)^{4.717} \quad (2)$$

olarak bulunmaktadır (sıfır indisli olanlar, Güneşe ait değerleri simgelemektedir). Burada kullanılan Değen dizgelerindeki birinci bileşenler bir doğru ile temsil edilebildiklerine göre (bkz. Şekil 2.2, denklem 1 ve 2), bu yıldızlar için bir kütle ışıtma bağıntısından söz edebiliriz. Oysa dizgelerdeki ikinci bileşenler için böylesi bir kütle-ışıtma bağıntısından söz etmek olanaklı değildir.



Şekil 2.2 Değen dizgelerin A-alltörü, W-alltörü, birinci bileşenler ve ikinci bileşenler ayrı ayrı Güneş kütlesi ve ışıtmasına oranları alınarak kütle-ışıtma diyagramında işaretlenmiştir, veriler [4]'ten alınmıştır. Burada incelenen Değen dizgelerindeki birinci bileşenler, bir doğru ile temsil edilebilmektedir.

HR diyagramında A-alltörü Değen dizgelerinin ikinci bileşenleri, W-alltörü ikinci bileşenlerin, hatta W-alltörü birinci bileşenlerin buldukları geri tayf türlerine kadar uzandıkları görülmektedir (bkz. Şekil 2.1). Bunun nedeni, A-alltüründeki ikinci bileşenlerin soğuk olması ve bu nedenle de gözlemlerdeki hataların büyük olması olabilir. Kütle-ışıtma diyagramında, her iki alltürdeki birinci bileşenlerin kütle-ışıtma bağıntısına uyduğunu, ancak ikinci bileşenlerin uymadıklarını belirtmiştik. Böylece, tayf türü bakımından bu alltürlerin farklı dağılım gösterdiklerini söyleyebiliriz. A-alltörü W-UMa dizgelerin bileşenleri A-F tayf türü aralığındayken, W-alltürünün bileşenleri G-K tayf türü aralığındadır.

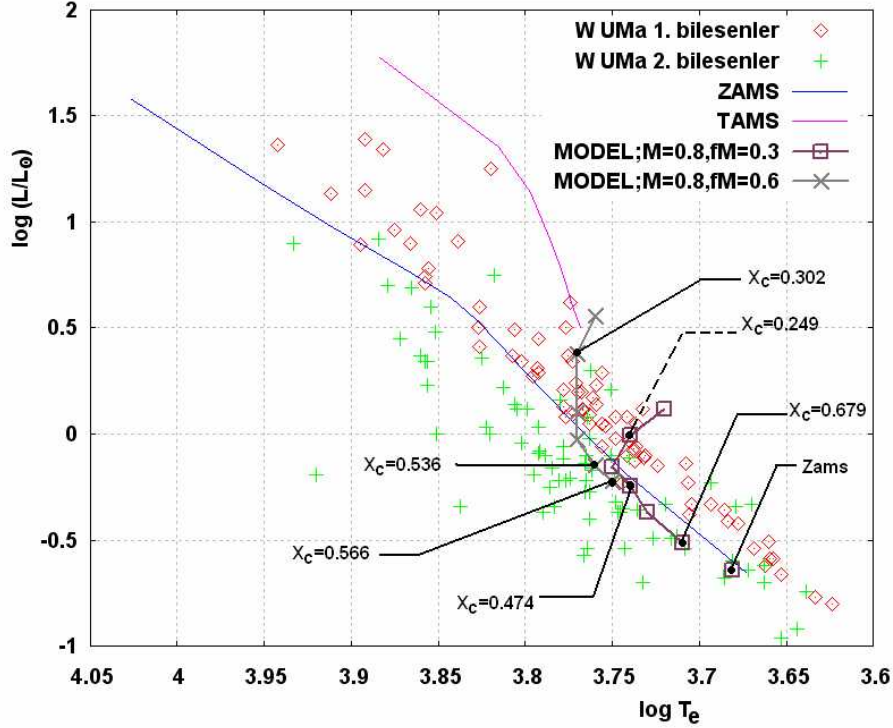


Şekil 2.3 M_1 ve M_2 birinci ve ikinci bileşenlerin kütlelerini göstermek üzere bir degen çift dizgenin Roche geometrisi. Burada $M_1 > M_2$ olmak üzere, L_1 ve L_2 ; sırası ile, iç ve dış Lagrange noktalarıdır.

İki bileşenin birbirine olan yakınlıklarından dolayı kütle aktarımının varlığı aşikârdır. Birinci bileşenin aldığı kütle, ikinci bileşenin en üst katmanından gelir ve Lagrange 1 (L_1) noktasından akar (L_1 noktasının konumu için bkz. Şekil 2.3). Dolayısıyla, ikinci bileşenin üstteki ince bir katmanı soyulmuş olur ki bu nedenle de alttaki daha sıcak katmanlar ortaya çıkar. Böylece, ikincinin sıcaklığı birinciden daha fazla olur. Bu durum akan madde miktarına da bağlı olacaktır.

3. Model ve Sonuçları

$M_* = 0.8M_\odot$ kütlelere sahip, özektaki başlangıç kimyasal kompozisyonun Güneş kompozisyonunda ve özek kütleleri $fM = 0.6M_\odot - 0.3M_\odot$ seçilmiş olan modeller oluşturulmuştur. Şekil 3.1'teki grafikte yıldızın kütesinin $0.8M_\odot$ olduğu modellerin sonuçları etkin sıcaklık-ışıtma diyagramına işaretlenmiştir. Bu modeller, $fM = 0.3M_\odot$ özek kütesine sahip $M_* = 0.8M_\odot$ kütleli ve $fM = 0.6M_\odot$ özek kütesine sahip $M_* = 0.8M_\odot$ kütleli yıldız modelleridir. Şekil 3.1'teki $M_* = 0.8M_\odot$ ve $fM = 0.3M_\odot$ olan model sonuçları, kareli kalın çizgi ile gösterilmiştir. Bu kalın çizgi üzerindeki her bir kare özeğin farklı hidrojen bolluğuna (X_c) (dolayısıyla da farklı özek yoğunluğu (ρ_c) ve sıcaklığına (T_c)) denk gelen ayrı ayrı yıldız modellerini göstermektedir. Şekil 3.1'te, en düşük ışıtmadan büyük ışıtmalara doğru yukarı gidildikçe, çizgi üzerinde yer alan yedi karenin her birinin değerleri Ek A'da verilmiştir. Örneğin, kareli kalın çizgi üzerindeki ilk kare Zams değeridir. İkinci kare için X_c değeri 0.679 iken, üçüncü kare için X_c değeri 0.474, dördüncü kare için X_c değeri ise 0.134'tür. Kareli kalın çizgi üzerindeki X_c değeri 0.679 olan birinci değer ile, X_c değeri 0.134 olan dördüncü değerlerinin sırasıyla özek yoğunluklarının $1.03 \times 10^{+02} \text{ g/cm}^3$ ile $1.97 \times 10^{+02} \text{ g/cm}^3$ 'tür. Bu özek koşullarına sahip sonuçların, anakolun alt bölgelerinde yer aldıkları görülmektedir. Böylece burada yer alan bir Değen dizgenin ikinci bileşeninin özek koşulları ve özektaki Hidrojen bolluğu saptanmış olur.



Şekil 3.1 Şekildeki veriler ve semboller şekil 2.1 ile aynıdır. Buna ek olarak, kareli çizgi, $M_*=0.8M_\odot$ ve $fM=0.3M_\odot$ değerlerine ait model sonuçları; çarpılı çizgi, $M_*=0.8M_\odot$ ve $fM=0.6M_\odot$ değerlerine ait model sonuçları eklenmiştir. Zams olarak adlandırılan nokta, $M_*=0.8M_\odot$ ve $fM=0.3M_\odot$ için zamstaki değeridir (bkz. Ek A ve Ek B).

$M_*=0.8M_\odot$ ve $fM=0.6M_\odot$ olan model sonuçları ise, çarpılı kalın çizgi ile gösterilmiştir (Şekil 3.1). Şekil 3.1’de yine, en düşük ışıtmadan büyük ışıtmalara doğru yukarı gidildikçe, çizgi üzerinde yer alan altı çarpının her birinin değerleri Ek B’de verilmiştir. Bu model sonuçları arasında, X_c değeri 0.566 olan birinci değer ile X_c değeri 0.536 olan ikinci değerlerin sırasıyla özek yoğunlukları; $1.42 \times 10^{+02} \text{ g/cm}^3$ ve $1.52 \times 10^{+02} \text{ g/cm}^3$ ’tür. Bu özek koşullarındaki sonuçlar, anakolun altında olan $M_*=0.8M_\odot$ ve $fM=0.3M_\odot$ olan model sonuçlarının üçüncü ve dördüncü noktalarının da altında oldukları Şekil 3.1’te görülmektedir. Demek ki, özek yoğunlukları ve özekteki hidrojen bolluklarının fazla olması, gözlem değerleri ile uyumlu bir biçimde, yıldızları anakolun daha da altında bulunmalarına neden olmaktadır.

Grafiklerde aynı zamanda, Maceroni ve van’t Veer’den (1996) alınan Değen dizgelerinin bileşenlerinin gözlemsel değerleri ve Claret’in (2004) teorik ZAMS ve TAMS eğrileri de işaretlenmiştir. Genel olarak sonuçlara baktığımızda, yıldızın kütesinin sabit kalması ile özek kütesinin $fM=0.3M_\odot$ ’ten $fM=0.6M_\odot$ ’e artması, yine anakolun alt bölgelerine denk gelme ile birlikte, özek kütesi $fM=0.3M_\odot$ olana göre, daha ışıtmalı ve daha sıcak bölgeye doğru uzanma görülmektedir. Gözlem sonuçları ile uyumlu bir şekilde, anakolun alt bölgesine toplanma söz konusudur. Tabii burada kabul edilen özek kütesi değerleri, daha çok şu anki değen dizgelerin ikinci bileşenleri için özek koşullarının atası olan yıldız ile benzer olması bakımından değerlendirilmelidir. Aksi olan, şu anki kütleleri ile nükleer tepkimelerin gerçekleştiği böylesi bir kütlede bir nükleer özeğe sahip olmaları söz konusu değildir. Bu seçilen özek kütesi değerleri sadece olası atası olan yıldızın özek koşullarına benzerliği açısından dikkate alınmalıdır.

Değerlendirilen tüm bu model sonuçlarından, Değen dizgelerdeki ikinci bileşenlerin, Değen dizgelerinin açıklanmasında ve anlaşılmasında kritik bir öneme sahip olduğunu söylenebilir. Bu ikinci bileşenlerin de evrimlerinde kütle aktarımı, ömürlerinin büyük bir kısmında etkili olmuş olabilir. Ancak burada, Değen dizgelerdeki bileşenler arası etkileşimlerden kütle aktarımının ikinci bileşenin yapısına etkisi incelenmiştir. Dolayısıyla olası enerji aktarımı gibi diğer etkiler göz ardı edilmiştir. Böylesi bir varsayıma rağmen, kütlelerinin büyük bir kısmını kaybeden yıldızların ısıtma ve yarıçap gibi salt parametrelerinin önceki kütlelerine bağımlılığı söz konusu olduğu saptanmıştır.

4. Değerlendirme

Değen çift dizgeleri, hem bileşenlerin birbirine olan yakınlıkları nedeni ile olan etkileşimleri açısından hem de fiziksel olarak değen olmaları açısından, astronomide hala çözümlenmemiş problemlerden birisi olarak önemli bir çalışma alanıdır. Bu kadar çok çalışılmasındaki nedenlerden birisi de (belki de en önemlisi), değişim genliklerinin büyük olması buna bağlı olarak küçük teleskoplarla bile gözlenebilir olmalarıdır. Bu tezin konusu ve amacı da, Değen dizgelerinin oluşumunun ve evriminin anlaşılmasında kritik öneme sahip ikinci bileşenleri için olası bir açıklama geliştirmek olmuştur. Bu çerçevede, temel olarak kütle aktarımına dayanan model gerçekleştirilmiş ve irdelenmiştir.

Yıldızların iç katmanlarını, özellikle merkezi bölgelerini doğrudan gözlemleyemediğimizden, yüzeylerinden elde edilen gözlem verilerinden yola çıkarak, alt katmanlar hakkında çıkarımlar yapılır ya da alt katmanlar ile ilgili yapılan varsayımlar ile oluşturulan model sonuçları gözlem verileri ile karşılaştırılarak dolaylı yoldan bilgi edinilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada da, Değen dizgelerinde kritik bir öneme sahip olan ikinci bileşenlerin, kütle aktarımı nedeni ile merkezi bölgelerinin yoğunluklarının büyük olduğu ve farklı molekül ağırlıklarının olduğu yaklaşımı ile yıldız içyapı modelleri yapılmıştır. Gözlemler ile yapılan karşılaştırmalar göstermektedir ki, kütlelerinin büyük bir kısmını kaybeden/aktaran bir yıldızın temel bazı parametreleri (ısıtma, yarıçap gibi), önceki kütlelerine, özellikle özek kütlelerine bağlıdır. Bu bağımlılık özellikle özek koşullarının kütle kaybı/aktarımı nedeniyle pek de değişmemesi kabulüne dayanmaktadır.

Ek A

$M = 0.8M_{\odot}$, $fM = 0.3M_{\odot}$ için model sonuçlarının verileri. Düşük ısıtmalıdan, büyük ısıtmalıya doğru 1-7 arası sıralanmıştır. Sadece bu çizelge için, ilk değer, zams değeridir.

	R/R_{\odot}	T_e (K)	T -özek (K)	L/L_{\odot}	X -özek	ρ -özek (g/cm^3)
1	0.71	4871.72	$1.12 \times 10^{+07}$	0.26	0.70	$8.52 \times 10^{+01}$
2	0.71	5091.76	$1.25 \times 10^{+07}$	0.31	0.68	$1.03 \times 10^{+02}$
3	0.76	5364.65	$1.45 \times 10^{+07}$	0.43	0.57	$1.40 \times 10^{+02}$
4	0.83	5509.98	$1.62 \times 10^{+07}$	0.57	0.47	$1.73 \times 10^{+02}$
5	0.90	5560.75	$1.76 \times 10^{+07}$	0.69	0.39	$1.97 \times 10^{+02}$
6	1.11	5456.04	$1.96 \times 10^{+07}$	0.99	0.25	$2.17 \times 10^{+02}$
7	1.37	5278.13	$2.10 \times 10^{+07}$	1.31	0.13	$2.26 \times 10^{+02}$

Ek B

$M = 0.8M_{\odot}$, $fM = 0.6M_{\odot}$ için model sonuçlarının verileri. Düşük ışıtmalıdan, büyük ışıtmalıya doğru 1-6 arası sıralanmıştır.

	R/R_{\odot}	T_e (K)	T -özek (K)	L/L_{\odot}	X -özek	ρ -özek (g/cm^3)
1	0.80	5661.87	$1.54 \times 10^{+07}$	0.60	0.57	$1.42 \times 10^{+02}$
2	0.85	5757.61	$1.62 \times 10^{+07}$	0.71	0.54	$1.52 \times 10^{+02}$
3	0.94	5868.96	$1.75 \times 10^{+07}$	0.94	0.48	$1.64 \times 10^{+02}$
4	1.07	5917.35	$1.87 \times 10^{+07}$	1.26	0.43	$1.68 \times 10^{+02}$
5	1.51	5847.70	$2.06 \times 10^{+07}$	2.38	0.30	$1.57 \times 10^{+02}$
6	1.92	5736.87	$2.16 \times 10^{+07}$	3.60	0.23	$1.47 \times 10^{+02}$

Kaynaklar

- [1] Yıldız, M., 2003, Modeling dissimilar components of the eclipsing binary EK Cep: Does the primary star have a rapidly rotating core?, *Astronomy and Astrophysics*, v409, p689–695.
- [2] Li, L., Han, Z. and Zhang, F., 2005, Structure and evolution of low-mass W Ursae Majoris type systems - III. The effects of the spins of the stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v360, p272-281.
- [3] Csizmadia, Sz. and Klagyivik, P., 2004, On the properties of contact binary stars, *Astronomy and Astrophysics*, v426, p1001-1005.
- [4] Maceroni, C. and van't Veer, F., 1996, The properties of W Ursae Majoris contact binaries: new results and old problems, *Astronomy and Astrophysics*, v311, p523-531.
- [5] Claret, A., 2004, New grids of stellar models including tidal-evolution constants up to carbon burning. I. From 0.8 to 125 M_{\odot} , at $Z=0.02$, *Astronomy and Astrophysics*, v424, p919-925.