

# HYADES YILDIZLARI İÇİN İÇ YAPI MODELLERİ: KONVEKTİF PARAMETRENİN YILDIZ KÜTLESİNE BAĞIMLILIĞI

Mutlu YILDIZ<sup>1</sup>

## Özet

Bu çalışmada, bileşenlerinin kütleleri gözlemsel olarak iyi bilinen Hyades üyesi çift yıldızların ayrıntılı analizleri sonucunda elde ettiğimiz bulguları sunuyoruz. Bir çift yıldızın bileşenleri için elde edilen iç yapı modellerini sistemin gözlenen toplam V ve B-V'sini ve ana-kolun ilgili kısmındaki gözlenen eğimi verecek şekilde gözlemlerle karşılaştırıyoruz (fit). Elde ettiğimiz bulgulara göre konvektif parametre ile yıldız kütlesi arasında çok net bir ilişki vardır. Bu ilişki için elde edilen karşılaştırma formülünü (fitting formula)  $\alpha = 9.19(M / M_{\odot} - 0.74)^{0.053} - 6.65$  şeklinde veriyoruz. Bu formül, yıldız kütlesinin  $0.77 M_{\odot}$ 'den büyük olduğu durumlar için geçerlidir. Renk-kadir diyagramındaki yozlaşmadan ötürü, kümenin kimyasal içeriğine ilişkin net bir bulgu elde edilemezken, ağır element bolluğunu  $Z=0.033$  kabul ederek ve 70 Tau ile  $\theta^2$  Tau'nun bileşenleri için modelleri kullanarak, hidrojen bolluğunu  $X=0.676$  ve yaşı 670 milyon yıl olarak buluyoruz.  $Z=0.024$  aldığımızda,  $X=0.718$  ve yaşı da 720 milyon yıl elde ediyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** iç yapı, evrim, bolluk, örten çift, açık küme: Hyades

## Abstract

We present our findings based on a detailed analysis for the binaries of the Hyades, in which the masses of the components are well known. We fit the models of components of a binary system to the observations so as to give the observed total V and B-V of the system and the observed slope of the main-sequence in the corresponding parts. According to our findings, there is a very definite relationship between the mixing-length parameter and the stellar mass. The fitting formula for this relationship can be given as  $\alpha = 9.19(M / M_{\odot} - 0.74)^{0.053} - 6.65$ , which is valid for stellar masses greater than  $0.77 M_{\odot}$ . While no strict information is gathered for the chemical composition of the cluster, as a result of degeneracy in the colour-magnitude diagram, by adopting  $Z=0.033$  and using models for the components of 70 Tau and  $\theta^2$  Tau we find the hydrogen abundance to be  $X=0.676$  and the age to be 670 Myr. If we assume that  $Z=0.024$ , then  $X=0.718$  and the age is 720 Myr.

**Key Words:** stars: interior -- evolution – abundances, binaries: eclipsing, open clusters: Hyades

---

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova İzmir,  
E-Mail: mutlu.yildiz@ege.edu.tr

## 1.Giriş

Endüstri sonrası dönemde enerjinin gerek üretimi gerekse iletiminin, insanlığın yaratmış olduğu ‘uygarlığın’ varlığını ve gelişimini etkileyecek başat unsurlardan addedildiği için, bilimsel araştırmaların özel önem verilen konuları arasında yer almasına şaşmamak gerekir. Yıldızların derin iç kısımlarındaki süreçlerin de, bu bakımdan, sadece merakımızı giderme işlevinden daha fazla bir öneme sahip olduğunu bilmemiz gereklidir. Bu bağlamda, yıldız astrofiziğinde en verimli laboratuarlardan birisi olan Hyades çift yıldızlarını ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, geç tip yıldızların zarflarında etkili olan ve pek de iyi bilemediğimiz konvektif hareketin yıldızdan yıldıza nasıl değiştiğini betimleyebilmek bilimsel açıdan bir başarı sayılabilir.

Çoğunlukla hızlı dönen erken tip yıldızlar için ise, derin iç katmanların dönme profilindeki belirsizlik önemli bir konudur. Bu bakımdan da, Hyades laboratuarı özel bir öneme sahiptir çünkü ana-kol’un (AK) en tepesindeki  $\theta^2$  Tau A için, bu konumuyla Hyades’in yaşını en iyi o temsil ediyor ve bu yıldız için oldukça kaliteli gözlemsel verilere sahibiz.

Yıldızların yapısı ve evriminin çok karmaşık süreçlerini anlayabilmemiz, gözlemsel verilerin, özellikle yıldızların kütlelerinin, çok yüksek duyarlılıkla saptanmış olması ile sınırlıdır. Yıldız kütleleri için temel bilgi kaynağımız ise görsel ve özellikle de örten çift yıldız sistemleridir. Ancak, yıldızların iç yapısı için gereken ve yeteri kadar bilgiye sahip olamadığımız girdilerin sayısı, çok özel koşulları bir tarafa bırakırsak, gözlemsel kısıtlamaların sayısından daha az olmaktadır. Bu durumda elde edeceğimiz sonuçların biricikliği konusunda bir iddiada bulunamayız. Bu bakımdan, aynı açık kümenin üyesi olan çift yıldızlar, deyim yerindeyse, tam bir hazinedir. En iyi hazine ise, en yakın olandır: Hyades açık kümesi.

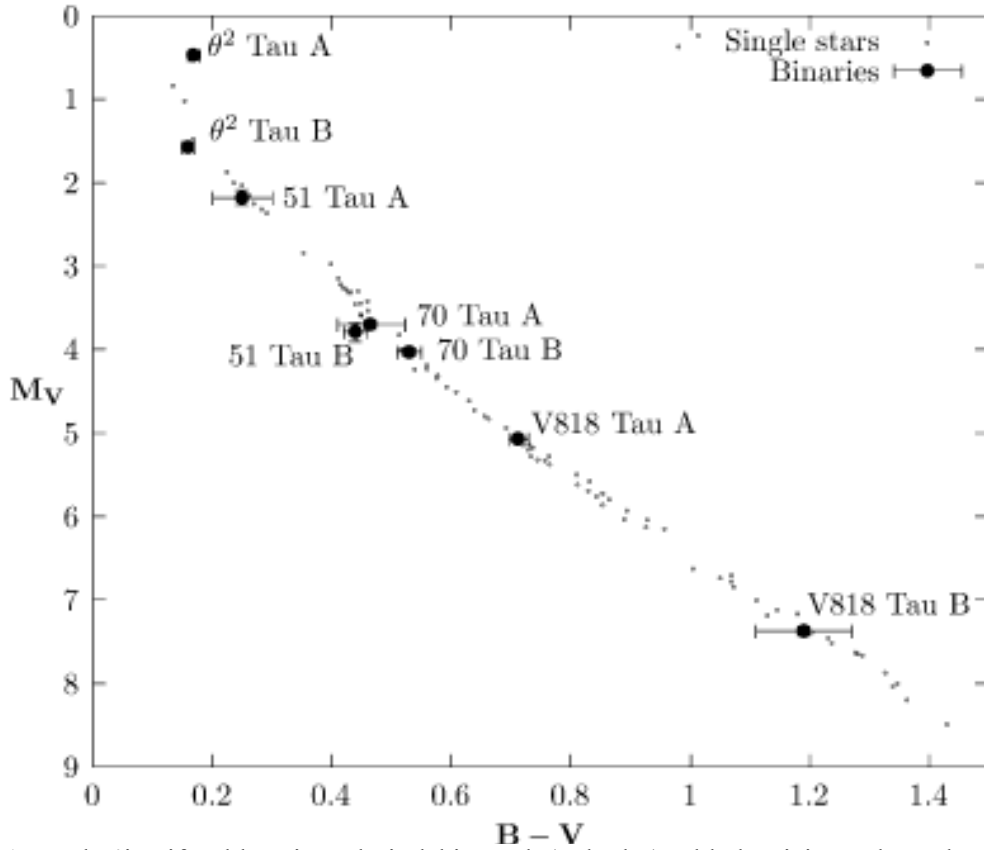
Hyades açık kümesinin iyi bilinen çift yıldızlarının özellikleri [1] ve yüksek duyarlıklılı Hipparcos verilerine [2] dayanan kısıtlamalar, küme üyesi yıldızların aynı yaş ve ortak kimyasal içeriğe sahip oldukları kabulü eşliğinde, elde edilecek çözümün güvenilirliğini kat kat arttırmaktadır.

Bütün iç katmanlarda enerji iletiminin hangi verimlilikle sağlandığı yıldızların özellikle boyutunu belirleyen ana etkendir. Bilindiği gibi geç tip yıldızların dış katmanları, en dıştaki ince katman olan ışınküre hariç, konvektiftir; enerji iletimi türbulant hareket ile sağlanıyor. Bu hareket, doğada en az anlaşılmış hareketlerden birisidir. Böhm-Vitense [3], bu karmaşık süreci betimleyen ve yıldızların iç yapısına uygulanabilir bir kuram geliştirdi. Karışım uzunluğu kuramı (KUK) olarak nitelendirilen görece basit bu kuramın, bütün eleştirilere rağmen bugün de yıldız evrim programlarında kullanımı devam etmektedir.

KUK formalizminde serbest kalan bir parametre vardır: konvektif hücrelerin özelliğini kaybetmeden kat edebildikleri mesafe ( $l$ ). Bu mesafeyi Güneş için saptayabiliyoruz çünkü Güneş’in yakınlığından dolayı hem gözlemsel verileri çok kaliteli, dahası Güneş’in yaşını biliyoruz. Diğer yıldızlar için yapılan hesaplamalarda ise ya genellikle bu Güneş değeri kullanılır ya da basınç ölçek yüksekliğinin ( $H_p$ ) 1.5 katı civarında (keyfi) bir değer alınır. Yapılan bir çok çalışmada, Güneş değerinin diğer yıldızlar için iyi sonuç vermediği vurgulanmaktadır [4]. Konvektif parametrenin,  $\alpha=(l/H_p)$ , Güneş’teki değerinin azlığı kadar fazlalığı da rapor edilmiştir. İlk kez, Yıldız ve ark. [5] tarafından Hyades yıldızları üzerine yapılan çalışmada,  $\alpha$ ’nın yıldız kütlelerine çok kesin bir şekilde bağlı olduğu gösterilmiştir.

**Tablo 1** Hyades açık kümesindeki iyi bilinen çift yıldız sistemlerinin ve bileşenlerinin gözlemsel özellikleri (kaynaklar için[5]'e bakınız).

System	$M_A/M_\odot$	$M_B/M_\odot$	$R_A/R_\odot$	$R_B/R_\odot$	V	B-V	$S_{MBV}$
V818 Tau	$1.072 \pm 0.010$	$0.769 \pm 0.010$	$0.905 \pm 0.029$	$0.773 \pm 0.015$	8.28	0.73	4.6 (4.8)
70 Tau	$1.363 \pm 0.073$	$1.253 \pm 0.075$	...	...	6.46	0.49	6.6 (5.2)
51 Tau	$1.80 \pm 0.13$	$1.46 \pm 0.18$	...	...	5.65	0.28	...
$\theta^2$ Tau	$2.42 \pm 0.30$	$2.11 \pm 0.17$	...	...	3.40	0.18	...
HD 27149	$1.096 \pm 0.002$	$1.010 \pm 0.002$	...	...	7.53	0.68	...

**Şekil 1** Hyades'in çift yıldız sistemlerindeki ve tek (noktalar) yıldızları için gözlemsel renk-kadir diyagramı.

## 2.Hyades Yıldızlarının Gözlemsel Özellikleri ve Ek Kısıtlamalar

Hyades'in çift yıldızlarının ve onların bileşenlerinin başlıca temel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu yıldızlar için renk-kadir diyagramı Şekil 1'de çizilmiştir (kaynaklar için [5]'e bakınız). Bu şekilde, ayrıca, yüksek duyarlıklı Hipparcos verileri kullanılarak mutlak parlaklığı çok iyi bir şekilde hesaplanan Hyades üyesi tek yıldızlar da kıyaslama amacıyla çizilmiştir. Tek tek yıldızların bu gözlemsel özelliklerinin yanı sıra, başka sınırlandırmalara da gereksinimimiz vardır çünkü V818 Tau aktif bir yıldız olduğu için yapılan gözlemsel ölçümler parlaklık ve renk için birbirinden oldukça farklı sonuçlar vermiştir. Dahası, görsel çift olan 70 Tau'nun bileşenlerinin renk kadir diyagramında sahip olduğu eğimle tek yıldızların o civardaki eğimi birbirinden oldukça farklıdır. Aynı durum çok daha bariz bir şekilde 51 Tau görsel çiftinin bileşenleri için de geçerlidir. Bu durum, yeteri kadar birbirinden

ayrık olmayan görsel çiftlerde ölçülen parlaklığın tek tek yıldızlara paylaşımında bir takım güçlüklerin olduğuna delalettir. Dolayısıyla, V818 Tau ve 70 Tau'nun bileşenlerinin bulunduğu kısımda AK eğimini tek yıldızların oluşturduğu kısımdan elde edip o değeri modeller için kısıtlama olarak kullanmak çok daha anlamlı olacaktır. V818 Tau ve 70 Tau için elde edilen bu eğimler de Tablo 1'in son sütunun da sunulmuştur. Bu sütundaki parantez içindeki değerler doğrudan çift yıldızların bileşenleri için ölçülen değerlerin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu eğimin, özellikle 70 Tau'nun bileşenleri için tek yıldızların verdiğiinden çok farklı olduğunu tespit ediyoruz.

### 3.Modeller

Dört yıldız yapı denklemini sonlu farklar yöntemini kullanarak eşzamanlı olarak çözüyoruz [6]. Bu yapı denklemlerinde geçen ve mikrofizik olarak nitelendirilen nükleer tepkimelerin hızı [7], saydamsızlık (opasite) [8] ve hal denkleminin hesaplanması gerekmektedir. Bunlardan ilk ikisi çakıştırma formülünden ve tablolardan hesaplanırken, sonuncusunu programın kendisi Saha denklemini çözerek elde etmektedir. Modellerin ışınımgücü ve etkin sıcaklıklarından gözlenen parlaklık ve renk niceliklerini hesaplamak için Bessel [9] ve Lejeune ve ark. [10] dönüşüm tabloları kullanılmıştır.

### 4.Çözüm Yöntemi ve Bulgular

Erken tip yıldızların iç dönmelerindeki belirsizlikten dolayı bileşenleri geri tip olan ve kütleleri iyi bilinen sistemlerden hem sistemlerin hem de Hyades açık kümesinin özelliklerini türetmeye çalışalım. Bu sistemler 70 Tau ve V818 Tau çift yıldızlarıdır. Her iki sistemin V ve (B-V)'lerinin yanı sıra AK eğimleri ve V818 Tau örten bir çift sistem olduğu için göreceli olarak iyi belirlenen  $L_A/L_B$  oranı için yedi denklem oluşturabiliriz. Her bir gözlenen kısıtlama için, örneğin V için,

$$V_{göz} = V_{ref} + \frac{\partial V}{\partial \log X} \delta \log X + \frac{\partial V}{\partial \log Z} \delta \log Z + \frac{\partial V}{\partial \log t} \delta \log t + \frac{\partial V}{\partial \log \alpha_A} \delta \log \alpha_A + \frac{\partial V}{\partial \log \alpha_B} \delta \log \alpha_B$$

benzeri denklemler yazabiliriz. Bu denklemde *ref* seçilen bir referans modelinin ifade ettiği niceliği, A ve B alt indisi ise bileşenleri temsil etmektedir. Kısmi türevler farklı kimyasal kompozisyonlar, yaş ve konvektif parametre  $\alpha$  ile elde edilen modellerden hesaplanabilir. Yukarıdaki denklemin benzeri yedi denklemin çözümünden, yedi bilinmeyeni (X, Z, t ve 4 $\alpha$ ) bulabiliriz. Geniş aralıklardan elde edilen türevler kullanılarak elde edilen sonuç aşağıda verilmiştir (SET A):

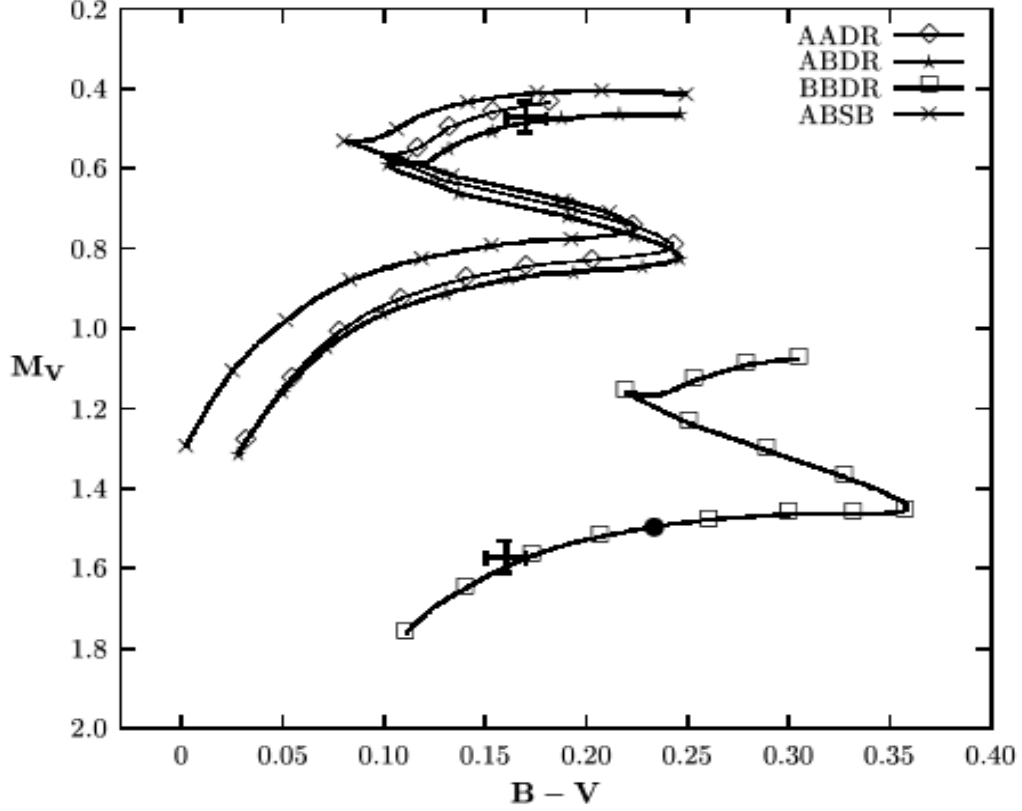
$$X = 0.679, Z = 0.0319, \alpha_{V818A} = 1.89, \alpha_{V818B} = 1.01, \\ \alpha_{70A} = 2.43, \alpha_{70B} = 2.33, t = 590My.$$

İkinci bir çözüm ise SET A'nın değerleri civarında daha dar aralıklardan hesaplanan türevler kullanılarak elde edilmiştir (SET B):

$$X = 0.695, Z = 0.0298, \alpha_{V818A} = 2.17, \alpha_{V818B} = 0.94, \\ \alpha_{70A} = 2.52, \alpha_{70B} = 2.25, t = 1030My.$$

Bu iki çözümün önemli bir ortak yanı vardır: her iki çift yıldız sisteminde büyük kütleli bileşenin konvektif parametresi küçük kütleli bileşeninkinden daha büyüktür. V818 Tau sisteminde A'nın konvektif parametresi B'ninkinin yaklaşık iki katı fazladır. İki çözümün verdiği yaşları ise birbirinden oldukça farklıdır. Bu demektir ki, bu sistemler, bileşenlerinin

evrimleri yavaş olduğundan, Hyades açık kümesinin yaşını türetmek için uygun sistemler değildir.



**Şekil 2.**  $\theta^2$  Tau A ve B için, dönme özellikleri DD ve KCD olan, SET A ve B girdileri ile elde edilmiş modellerin HR diyagramındaki evrimsel izleri. Gözlemsel özellikler de Bruijne ve ark.'dan [2] alınmıştır.

Bu durumda, Hyades'in yaşını bulmak için en uygun yıldız evrimi en hızlı olan, AK'un en tepesindeki  $\theta^2$  Tau A'dır. Ancak, karşımıza bu sefer dönme sorunu çıkmaktadır. Yıldızların açısal momentum evrimindeki belirsizlikten dolayı iki tipik durumu çalışmak makul bir yöntem gibi görünmektedir: 1) Katı cisim gibi dönme (KCD), 2) çökmenin belirlediği haliyle ulaşılan diferansiyel dönme (DD). Şekil 2'de  $\theta^2$  Tau A ve B için KCD ve DD'li ve SET A ve SET B'li modeller Hertzsprung-Russell diyagramında çizilmiştir. Kıyaslama amacıyla gözlemsel veriler de işaretlenmiştir. Şekil üzerindeki yazıda (legend) ilk harf bileşeni, ikinci harf çözüm setini, son iki harf ise dönme tipini belirtmektedir. Gözlemsel verilerle uyum açısından DD modellerin daha başarılı olduğu, SET A ve B'nin ise birbirine çok yakın evrimsel izler verdiği sonuçlarını çıkarıyoruz.

Farklı kimyasal özelliklere (SET A ve B) sahip modellerin birbirine benzer sonuçlar vermesini ve DD'li modellerin gözlemlerle daha uyumlu olmasını gözönünde tutarak, seçtiğimiz bir Z için  $\theta^2$  Tau A, 70 Tau A ve B'nin modellerini gözlemsel verilere karşılaştırma yoluna gidiyoruz. Böylece, seçilen bir Z değeri için, X'i, yaşı ve 70 Tau A ve B'nin konvektif parametrelerini bulabiliriz:

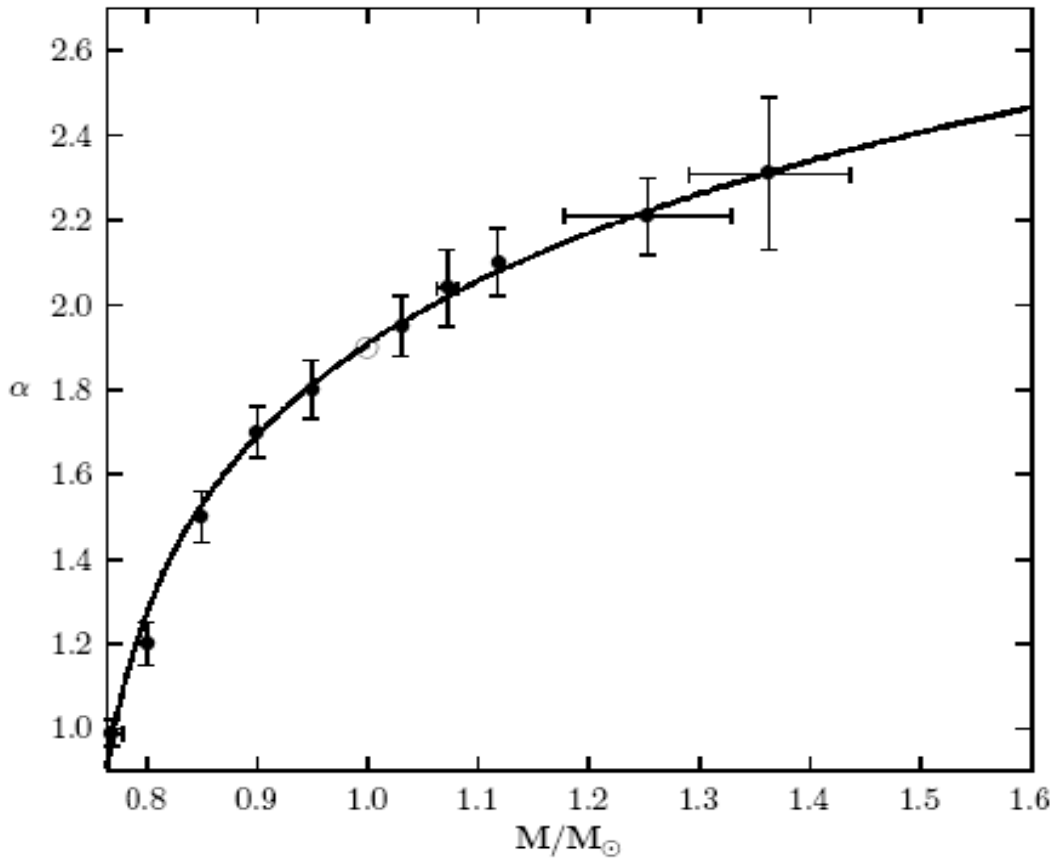
a)  $Z=0.028$  için (SET 28)

$$X = 0.699, \alpha_{70A} = 2.31, \alpha_{70B} = 2.21, t = 705 My,$$

b)  $Z=0.033$  için (SET 33)

$$X = 0.676, \alpha_{70A} = 2.29, \alpha_{70B} = 2.20, t = 676 My,$$

c)  $Z=0.024$  için (SET 24), SET 28'in  $\alpha$  değerlerini kullanarak,



Şekil 3. Hyades üyesi yıldızlar için konvektif parametrenin yıldız kütlelerine bağımlılığı.

$$X = 0.718, \alpha_{70A} = 2.31, \alpha_{70B} = 2.21, t = 721 My.$$

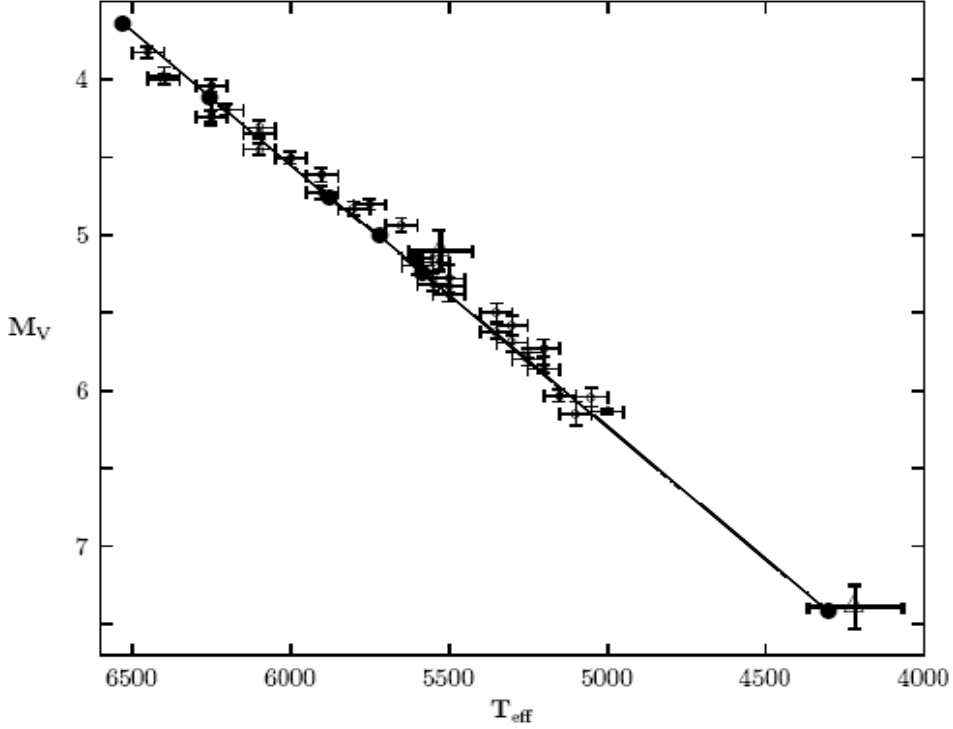
Bu çözüm kümeleri ile ilgilendiğimiz diğer yıldızlar için de modeller oluşturarak onların da konvektif parametrelerini elde edebiliriz. Bu yolla elde edilen konvektif parametrelerin değerleri Şekil 3'te yıldız kütlelerine karşı çizilmiştir. Hata çizgileri, her bir yıldızın B-V'sinde, belki biraz abartılı denilecek miktarda, 0.01'lik bir hata varsayılarak hesaplanmıştır. Veriyi çoğaltmak amacıyla, burada üzerinde durmadığımız HD 27149 görsel çift yıldızının bileşenleri [11] için ve 0.8, 0.85, 0.90 ve 0.95  $M_{\odot}$  modeller de elde edilmiştir. Bu modellerin elde edilmesinde, tek yıldızların oluşturduğu AK ve eğiminin burada da dikkate alındığını belirtmekte yarar vardır. Kıyaslama amacıyla, konvektif parametrenin Güneş değeri de işaretlenmiştir. Konvektif parametrenin kütleyle bağımlılığı için

$$\alpha = 9.19 \left( \frac{M}{M_{\odot}} - 0.74 \right)^{0.053} - 6.65$$

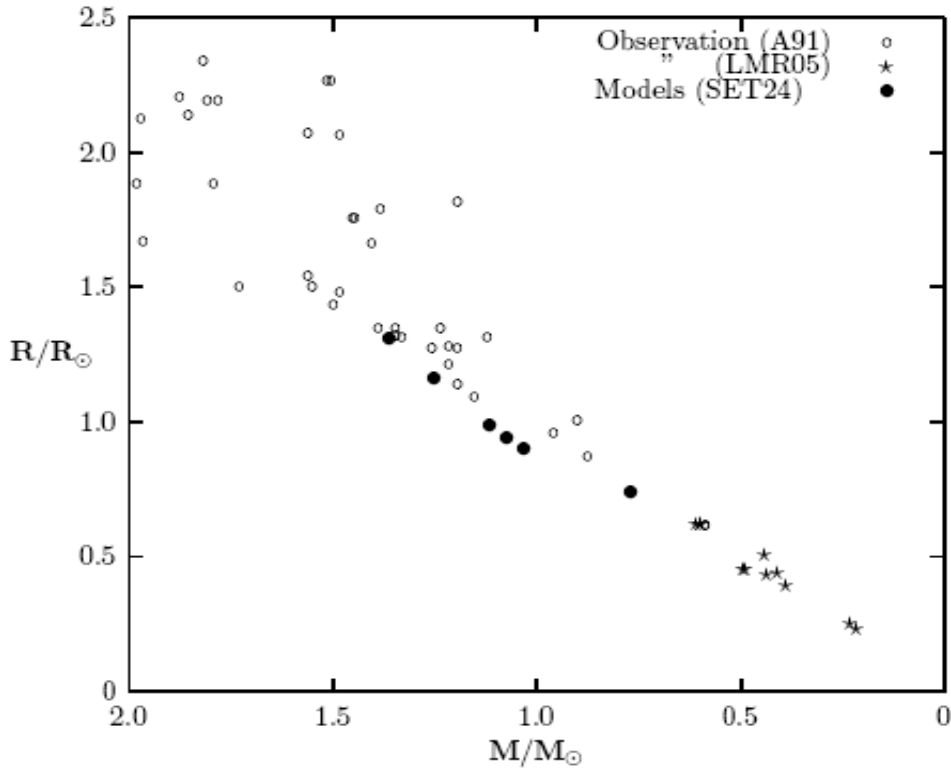
çakıştırma formülünü türettik. Şekil 3'teki sürekli çizgi elde edilen çakıştırma formülünü temsil etmektedir.

### 5. Bulguların Başka Verilerle Kıyaslanması

Eğer konvektif parametrenin bir önceki bölümde verilen kütleye bağımlılığı bu kadar duyarlıysa bu bağımlılığın hem farklı yöntemlerle elde edilen verilerde hem de başka yıldızlar ve yıldız sistemlerinde kendini göstermesi gerekir. Önce Hyades yıldızlarının tayfsal yoldan elde edilen etkin sıcaklıkları ile Şekil 3'te çizilen modellerin etkin sıcaklıklarını kıyaslayalım. Konvektif parametre esas olarak yarıçapı belirlediğinden etkin sıcaklık da konvektif



Şekil 4. Hyades üyesi yıldızlar için konvektif parametrenin yıldız kütesine bağımlılığı.



Şekil 5. Örtün çift yıldız sistemleri [14,15] ve Hyades üyesi yıldızların modelleri için yarıçap-kütle grafiği.

parametrenin duyarlı bir fonksiyonudur. Şekil 4'te Hyades yıldızlarının mutlak parlaklıkları Paulson ve ark. [12] tarafından tayftan elde edilen etkin sıcaklıklarına karşı çizilmiştir. Dolu daireler ise modelleri göstermektedir. Sağ alt köşedeki gözlemsel veri Torres ve Ribas'tan alınmıştır [13]. Modellerin ve tayfsal yoldan belirlenen etkin sıcaklıklar birbiriyle çok uyumludur.

İkinci olarak başka örten çift yıldız sistemlerinde belirlenen yarıçaplarla bu modellerin yarıçaplarını kıyaslayalım. Şekil 5'te Andersen [14] ve Lopez-Morales ve Ribas'tan [15] alınan gözlemsel veriler ile modeller kütle-yarıçap grafiğinde çizilmiştir. Modeller gözlemsel verilerin hemen altında yer almaktadır. Bu demektirki, modeller sıfır-yaş-AK'una çok yakındır. Hyades'in 700 milyon yıl civarındaki yaşının bu geri tip yıldızların AK ömrüyle kıyaslanmayacak kadar kısa olmasından dolayı bu sonuç çok anlamlı görünmektedir.

## 6.Sonuç

Hyades üyesi çift yıldızların bileşenlerinin modelleri üzerine ayrıntılı bir çalışma yaparak, bu açık kümenin yaşını 700 milyon yıl civarında bulduk. Kesin rakam kimyasal kompozisyon ve erken tip yıldızların iç dönme özelliklerine bağlıdır. Küme üyesi geri tip yıldızların konvektif zarfındaki enerji iletiminin ne şekilde olduğunu ifade eden konvektif parametrenin yıldız kütlelerine bağlı olduğunu net bir şekilde ifade ettik ve elde edilen bağıntının başka gözlemsel verilerle tutarlı olduğunu gösterdik. Güneş'ten elde edilen konvektif parametrenin Hyades yıldızları için elde edilen değerlerle uyumlu olması ilginçtir ve bu sonucun rastlantı mı yoksa doğal mı olduğu araştırılmaya değer bir konudur.

## Kaynaklar

- [1] Lebreton, Y., Fernandes, J., Lejeune, Th. 2001, A&A, 374, 540
- [2] de Bruijne, J.H.J., Hoogerwerf, R., de Zeeuw, P.T. 2001, A&A, 367, 111
- [3] Böhm-Vitense, E. 1958, Zs. Ap., 46, 108
- [4] Ferraro, F.R., Valenti, E., Straniero, O., Origlia, L. 2006, ApJ, 642, 225
- [5] Yıldız, M., Yakut, K., Bakış, H., Noels, A. 2006, 2006, MNRAS, 368, 1941
- [6] Ezer, D., Cameron, A.G.W. 1967, Can. J. Phys., 45, 346
- [7] Caughlan, G.R., Fowler W.A. 1988, Atomic Data and Nuclear Data Tables, 40, 283
- [8] Iglesias, C.A., Rogers, F.J., Wilson, B.G. 1992, ApJ, 397, 717
- [9] Bessell, M. S., Castelli, F., Plez, B. 1998, A&A, 333, 231
- [10] Lejeune, T., Cuisinier, F., Buser, R. 1998, A&AS, 130, 65
- [11] Tomkin, J. 2003, Obs., 123, 1
- [12] Paulson, D.B., Sneden, C., Cochran, W.D. 2003, AJ, 125, 3185
- [13] Torres, G., Ribas, I. 2002, ApJ, 567, 1140
- [14] Andersen, J. 1991, A&AR, 3, 91
- [15] Lopez-Morales, M., Ribas, I. 2005, ApJ, 631, 1120