

İpek Aleyna Ertürk¹, Gülben Şancı¹, Mesut Yılmaz², Selim Osman Selam²

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

² Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ankara, Türkiye

GİRİŞ

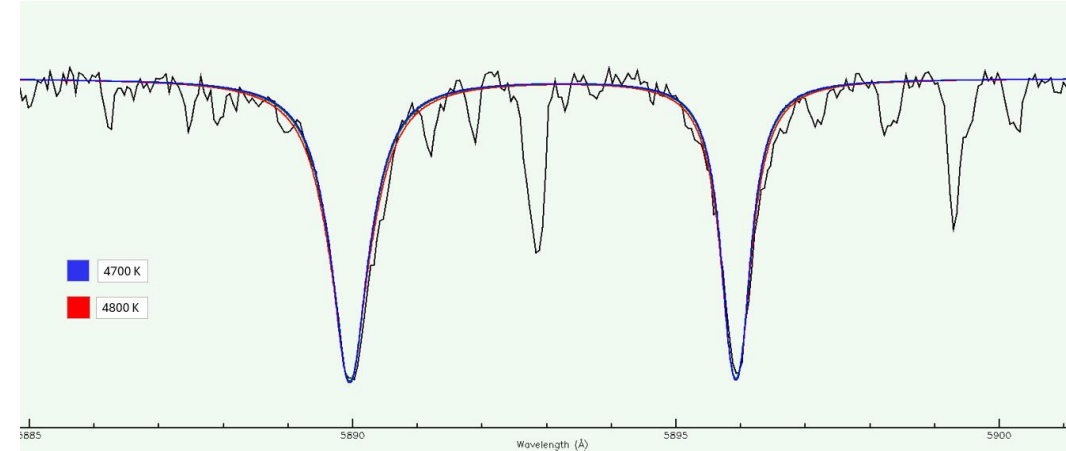
Tek çizgili tayfsal çiftlerde (SB1) yalnızca baş bileşene ait tayf çizgileri gözlemlendiğinden, görünmeyen yoldaşın kütlelerinin sınırlandırılması baş bileşenin fiziksel parametrelerinin güvenilir biçimde belirlenmesine bağlıdır. HD 5624 ve HD 7268, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’nde (TUG) 2007 yılında başlatılan Türkiye–Rusya–Japonya ortak hassas dikine hız gözlem programı kapsamında SB1 türü çift yıldız olduğu anlaşılmıştır. Literatürde KO III olarak sınıflandırılan bu yıldızların daha önce ayrıntılı tayfsal analizleri ve yörünge çözümleri bulunmamaktadır. Bu çalışmada, her iki yıldızın atmosfer parametreleri farklı tayfsal analiz yöntemleriyle belirlendi ve MIST yıldız evrim modelleri kullanılarak baş bileşenlerin temel mutlak parametreleri elde edildi. Dikine hız ölçümlerine uygulanan Kepler yörünge modellerinden de her iki sisteminin yörünge elemanları hesaplandı ve baş bileşen kütleleri ile yörünge kütle fonksiyonlarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda görünmeyen yoldaşların minimum kütleleri hesaplandı.

GÖZLEMLER ve ÖN-İNDİRGEME

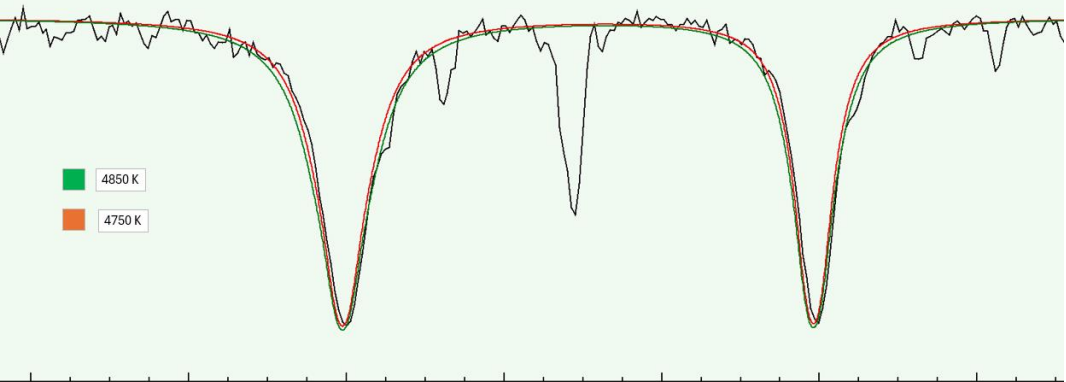
HD 5624 ve HD 7268’in yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemleri 2013 yılında, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’ndeki 1.5 m RTT150 Teleskobu’na bağlı Coudé Échelle Tayfçekeri kullanılarak gerçekleştirildi. Tayflar, yaklaşık $R=\lambda/\Delta\lambda \approx 55000$ ayırma gücünde, 4400 – 7200Å dalga boyu aralığında ve 1800 sn poz süresi ile elde edildi. Elde edilen tayflar yaklaşık 70–100 sinyal-gürültü oranına (S/N) sahip. Hassas dikine hız ölçümleri, tayfçekerin giriş yarığı önüne yerleştirilen iyot soğurma hücresi kullanılarak gerçekleştirildi ve Yılmaz vd. [1] çalışmasında belirtilen yöntemle de hassas dikine hızlar hesaplandı. Ham eşel tayflar IRAF yazılımı kullanılarak standart ön indirgeme işlemlerinden geçirildi ve aynı gece elde edilen ThAr (toryum-argon) lamba tayfları kullanılarak dalgaboyu boyu kalibrasyonları yapıldı. Daha sonra IDL ortamında geliştirilen özgün bir kod yardımıyla tayflar süreklilik seviyesine göre normalize edildi ve daha yüksek S/N elde etmek için birleştirildi (coadd).

TAYFSAL ANALİZ

Bu çalışmada aday yıldızların atmosfer parametreleri üç farklı teknikle belirlendi. İlk olarak, başlangıç parametrelerini elde etmek için tayfsal enerji dağılımı (SED) yöntemiyle T_{eff} , $\log g$ ve $[\text{Fe}/\text{H}]$ değerleri hesaplandı. Hesaplama görsel sönümleme değerleri (A_V) IRSA üzerinden erişilen üç boyutlu toz haritalarından (Green vd. [2]) ve uzaklık bilgisi de Gaia veritabanından alındı. Atmosfer parametreleri için ilk yaklaşım olarak ATLAS9 [3] model atmosferleri ve VALD3 [4] atomik çizgi listeleri yardımıyla Synth3 [5] ve SME [6] kodu kullanılarak gözlenen tayflara sentetik profil uyumları gerçekleştirildi. Etkin sıcaklık, $H\alpha$ ve $H\beta$ çizgi kanatlarından; yüzey çekim ivmesi, Mg I b , Na I D ve Ca I gibi yüzey çekimine duyarlı çizgilerden; vsini ise karışmamış metal çizgilerinin profil uyumlarından elde edildi.

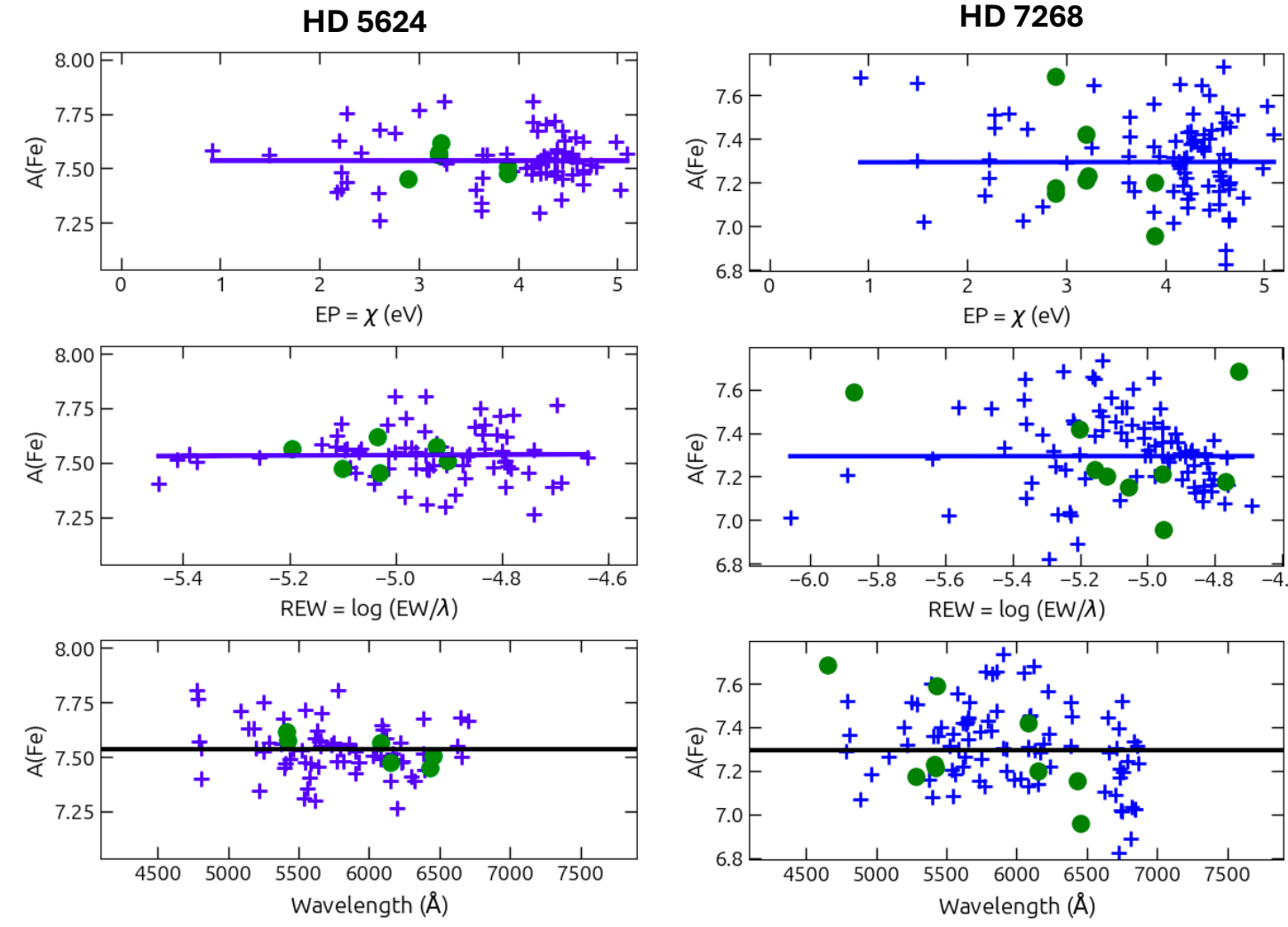


Şekil 1: HD 5624 için Na I D çizgilerinde gözlenen ve sentetik tayf profil uyumları.

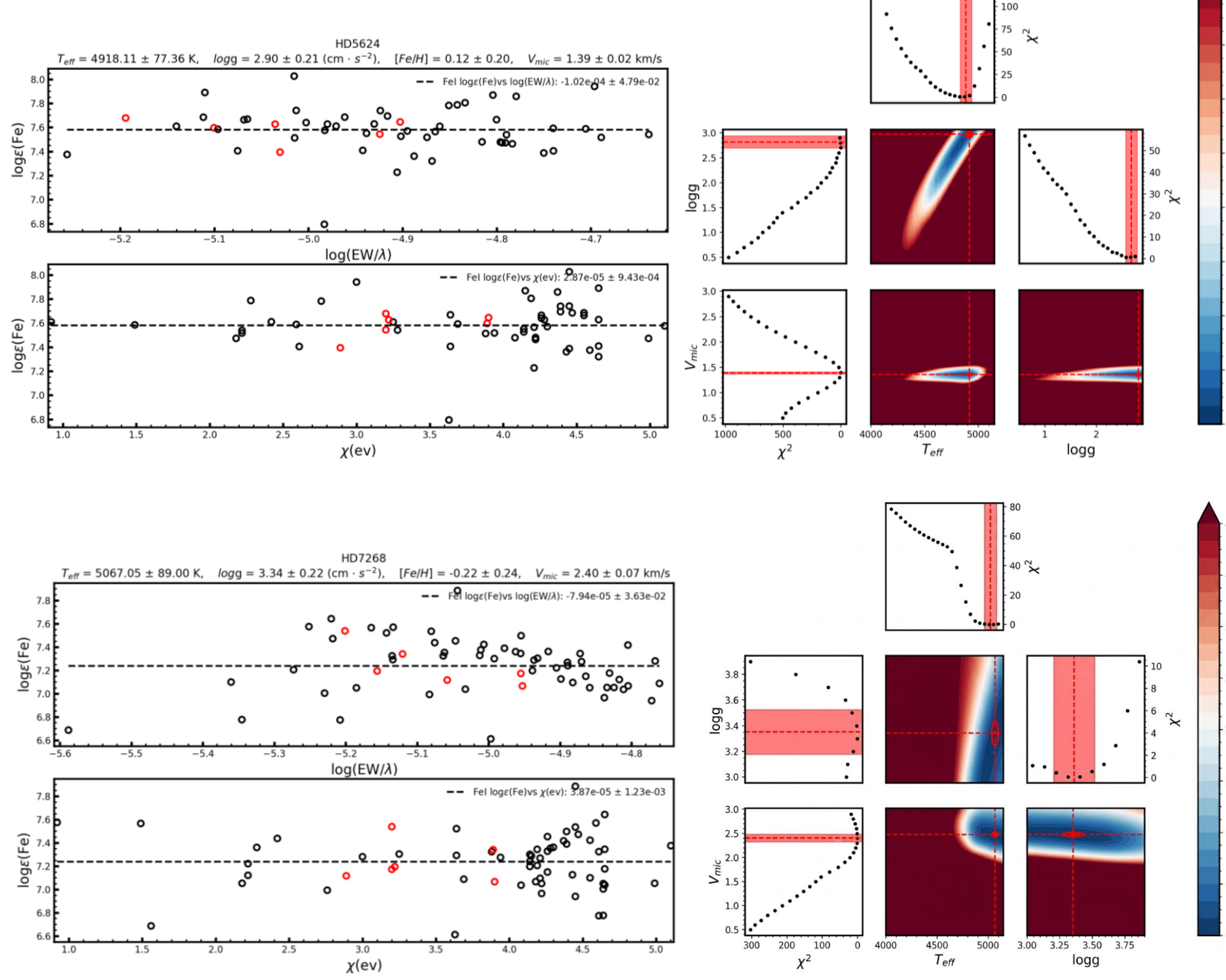


Şekil 2: HD 7268 için Na I D çizgilerinde gözlenen ve sentetik tayf profil uyumları.

İkinci aşamada, tayftaki Fe I ve Fe II çizgilerinin eşdeğer genişlikleri ölçüldü. Bu ölçümler, MARCS [7] model atmosferleri kullanılarak MOOG [8] kodu ile bolluklar belirlendi ve uyarılma-iyonlaşma dengesi üzerinden de temel atmosfer parametreler hesaplandı. Şekil 3’te MOOG kodu ile elde edilen ölçümlerin bolluk grafikleri verildi. Son olarak üçüncü aşamada, LOTUS [9] programıyla Fe I ve Fe II çizgilerinin büyüme eğrileri yardımıyla temel atmosfer parametreleri belirlendi. Elde edilen sonuçlar Şekil 4’te verildi. Her iki yıldızın nihai atmosfer parametreleri, bu üç yöntemle elde edilen sonucun aritmetik ortalaması alınarak listelendi. Sonuçlar Tablo 1’de görülmektedir.



Şekil 3: HD 5624 (sol) ve HD 7268 (sağ) için MOOG çözümleri.

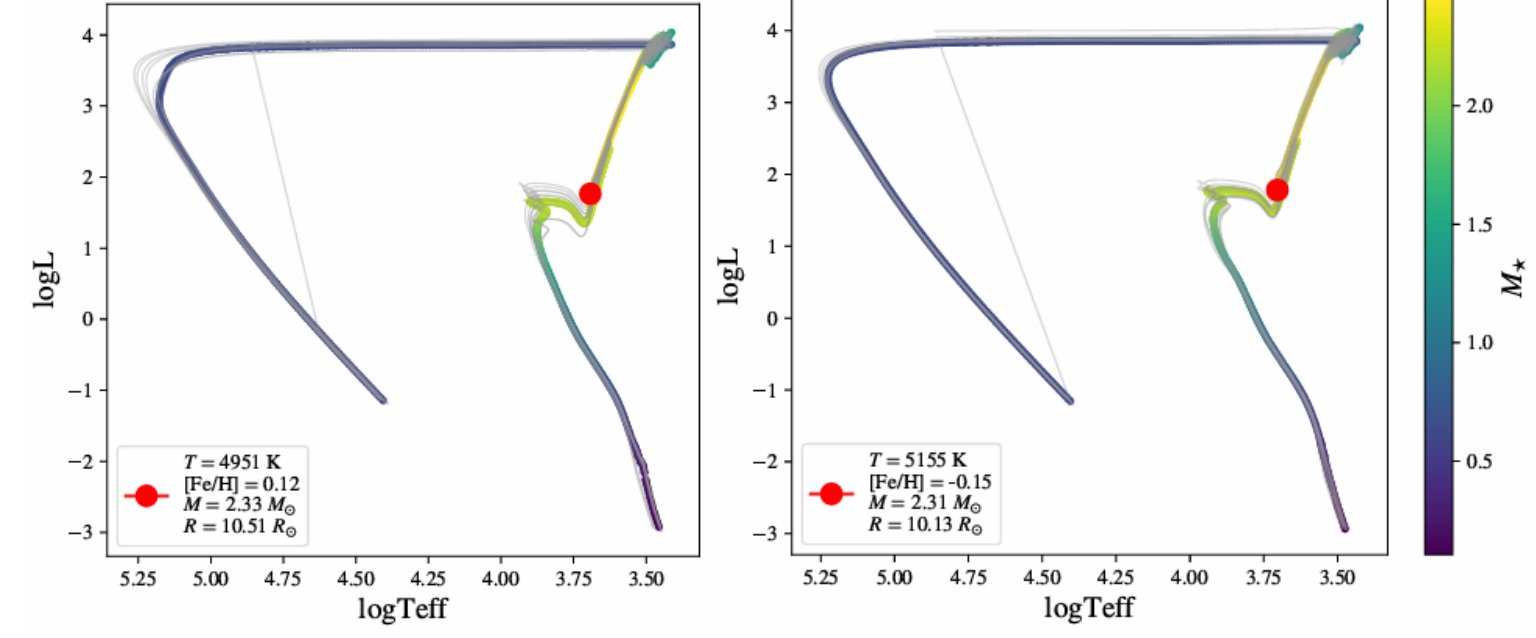


Şekil 4: HD 5624 (üst) ve HD 7268 (alt) için LOTUS çözümleri; Fe bolluklarının $\log(\text{EW}/\lambda)$ ve uyarılma potansiyeli ile ilişkileri. Yan paneller parametrelerin χ^2 dağılımlarını göstermekte.

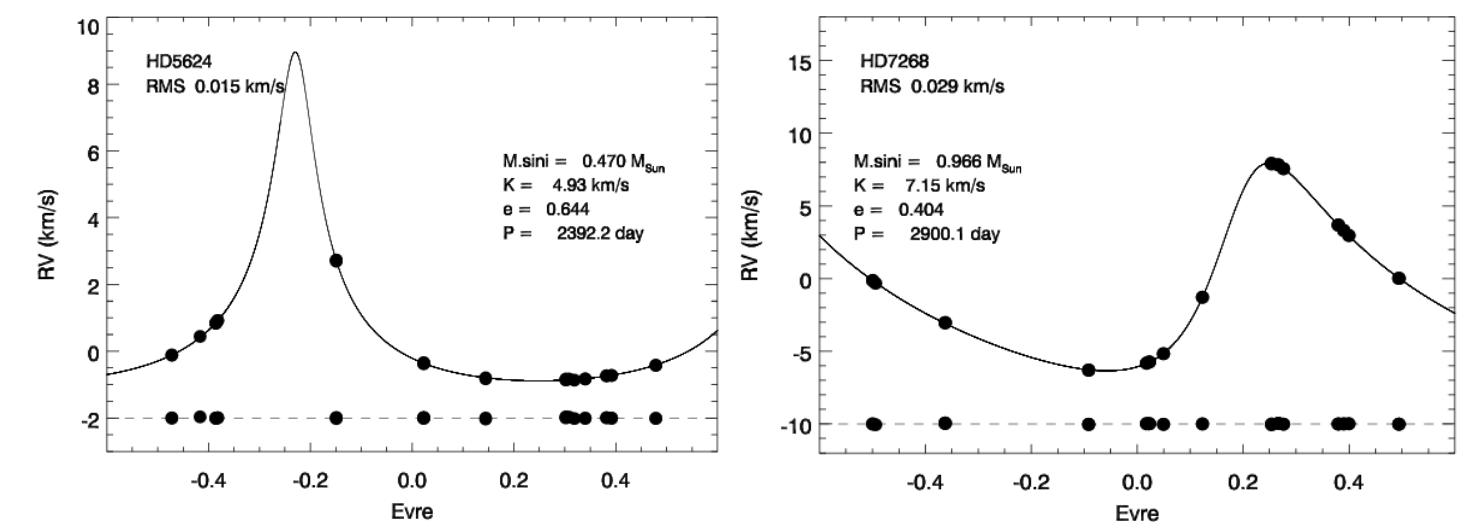
Tablo 1 : HD 5624 ve HD 7268 için MOOG ve LOTUS sonuçlarının ortalamasından elde edilen nihai atmosfer parametreleri

Sistem	Teff (K)	log g (cgs)	[Fe/H] (dex)	ξmic (km/s)
HD 5624	4952±77	2.89±0.21	+0.12±0.20	1.49±0.02
HD 7268	5156±89	3.35±0.22	-0.19±0.24	2.70±0.07

HD 5624 ve HD 7268’in baş bileşenlerinin kütlelerini ve evrimsel durumlarını belirlemek amacıyla MIST [10] yıldız evrim modellerinden yararlanıldı. Tablo 1’de belirlenen T_{eff} , $\log g$ ve $[\text{Fe}/\text{H}]$ değerleri, Gaia uzaklık bilgisi, toz haritalarından elde edilen görsel sönümleme değerleri ve çok bantlı fotometrik ölçümlerle birlikte isochrones [11] Python paketi kullanılarak MIST model gridleriyle karşılaştırıldı ve adaylara ait kütleler (Tablo 2) ve Şekil 5’te görüleceği üzerine HR diyagramında konumları belirlendi. Elde edilen kütleler yardımıyla ve daha önce elde edilen dikine hız ölçümleri kullanılarak Kepler yörünge modellemesi yapıldı ve görünmeyen bileşenlere ait parametreler Tablo 2’de verildi.



Şekil 5. HD 5624 ve HD 7268’in MIST yıldız evrim modelleri üzerindeki konumları. Renk ölçeği yıldız kütlelerini, kırmızı noktalar ise gözlemsel parametrelere karşılık gelen en uygun çözümleri göstermektedir.



Şekil 6. HD 5624 ve HD 7268 ait dikine hız grafiği ve en iyi Kepler yörünge modellemesi.

Tablo 2: HD 5624 ve HD 7268 için baş bileşenleri için MIST yıldız evrim modellerinden elde edilen kütle, ışıma gücü ve yarıçap değerleri ile Kepler yörünge çözümlerinden elde edilen yörünge dönemi, dışmerkezlilik ve yoldaş bileşenlerin minimum kütleleri.

Sistem	M_1 ($M_{\odot}$)	L_1 ($L_{\odot}$)	R_1 ($R_{\odot}$)	P (yıl)	e	M_2 sin i ($M_{\odot}$)
HD 5624	2,33	58,18	10,51	6,55	0,644	0,47
HD 7268	2,31	60,26	10,13	7,94	0,404	0,97

SONUÇLAR

Tayfsal profil fiti, MOOG ve LOTUS analizlerinden HD 5624 için $T_{\text{eff}}=4952$ K, $\log g=2.89$, $[\text{Fe}/\text{H}]=+0.12$; HD 7268 için ise $T_{\text{eff}}=5156$ K, $\log g=3.35$, $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.19$ değerleri hesaplandı. MIST modelleri her iki baş bileşenin de yaklaşık $2.3M_{\odot}$ kütleli ve $10R_{\odot}$ yarıçaplı evrimleşmiş devler olduğunu gösterdi. HR diyagramındaki konumları da her iki yıldızın evrimleşmiş K türü dev olduğunu doğrulamaktadır. Her iki aday için yapılan Kepler yörünge çözümlemesinde sırasıyla HD 5624 ve HD 7268 için yörünge dönemlerinin 6.55 ve 7.94 yıl ve yörünge dışmerkezlikleri 0.64 ve 0.40 olduğunu göstermekte. Görünmeyen yoldaşların minimum kütleleri ise sırasıyla $0.47M_{\odot}$ ve $0.97M_{\odot}$ olarak belirlendi.

REFERANSLAR

- [1] Yılmaz, M., vd., 2013, New Astron., 20, 24
- [2] Green, G. M., vd. 2019, ApJ, 887, 93
- [3] Castelli, F. & Kurucz, R. L. 2004
- [4] Ryabchikova, T., vd. 2015, Phys. Scr., 90, 054005
- [5] Kochukhov, O., 2007, Physics of Magnetic Stars, 109
- [6] Piskunov, N. & Valenti, J. A., 2017, A&A, 597, A16
- [7] Gustafsson, B., vd., 2008, A&A, 486, 951
- [8] Sneden, C., 1973, ApJ, 184, 839
- [9] Li, Y. & Ezzeddine, R., 2023, AJ, 165, 145
- [10] Choi vd., 2016, ApJ, 823, 102
- [11] Morton, 2015, ASCL, ascl:1503.010