

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

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

²Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara, Türkiye

GİRİŞ

Geç tayf türündeki (G ve K) dev yıldızlar, konvektif zarfları aracılığıyla yüzeye taşıdıkları elementler sayesinde, iç karışım süreçleri ve geçmiş nükleosentez olayları hakkında eşsiz bilgiler sunarak yıldız evriminin ve Galaktik kimyasal zenginleşmenin anlaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır [1, 2]. Özellikle, standart evrim modellerine göre dev dalına tırmanma evresinde yıldız atmosferlerinde yüzey lityum miktarının seyrelmesi beklenirken son yıllardaki elde edilen bulgular "lityum zengini" dev yıldızlar güncel astrofizik literatüründe büyük bir araştırma odağı oluşturmaktadır.

Literatürde HD 90485, APOGEE örnekleme kapsamında yaş tahmini [3] açısından incelenmiş olsa da; HD 18145, HD 34004 ve HD 90485 yıldızlarını doğrudan hedef alan, yüksek çözünürlüklü tayfsal verilere dayalı detaylı bir atmosferik parametre ve kimyasal bolluk analizi eksikliği göze çarpmaktadır. Bu önemli veri boşluğunu doldurmayı hedefleyen çalışmamızda, söz konusu yıldızların yüksek çözünürlüklü tayfları kullanılarak temel atmosferik parametreleri farklı tayfsal yöntemlerle hassas bir biçimde belirlenmesi amaçlanmakta. Elde edilen bulgular doğrultusunda, MIST evrim modelleri yardımıyla yıldızların kesin fiziksel parametreleri ve evrimsel konumları detaylı olarak ortaya konulacaktır.

GÖZLEM VE VERİ İNDİRGEME

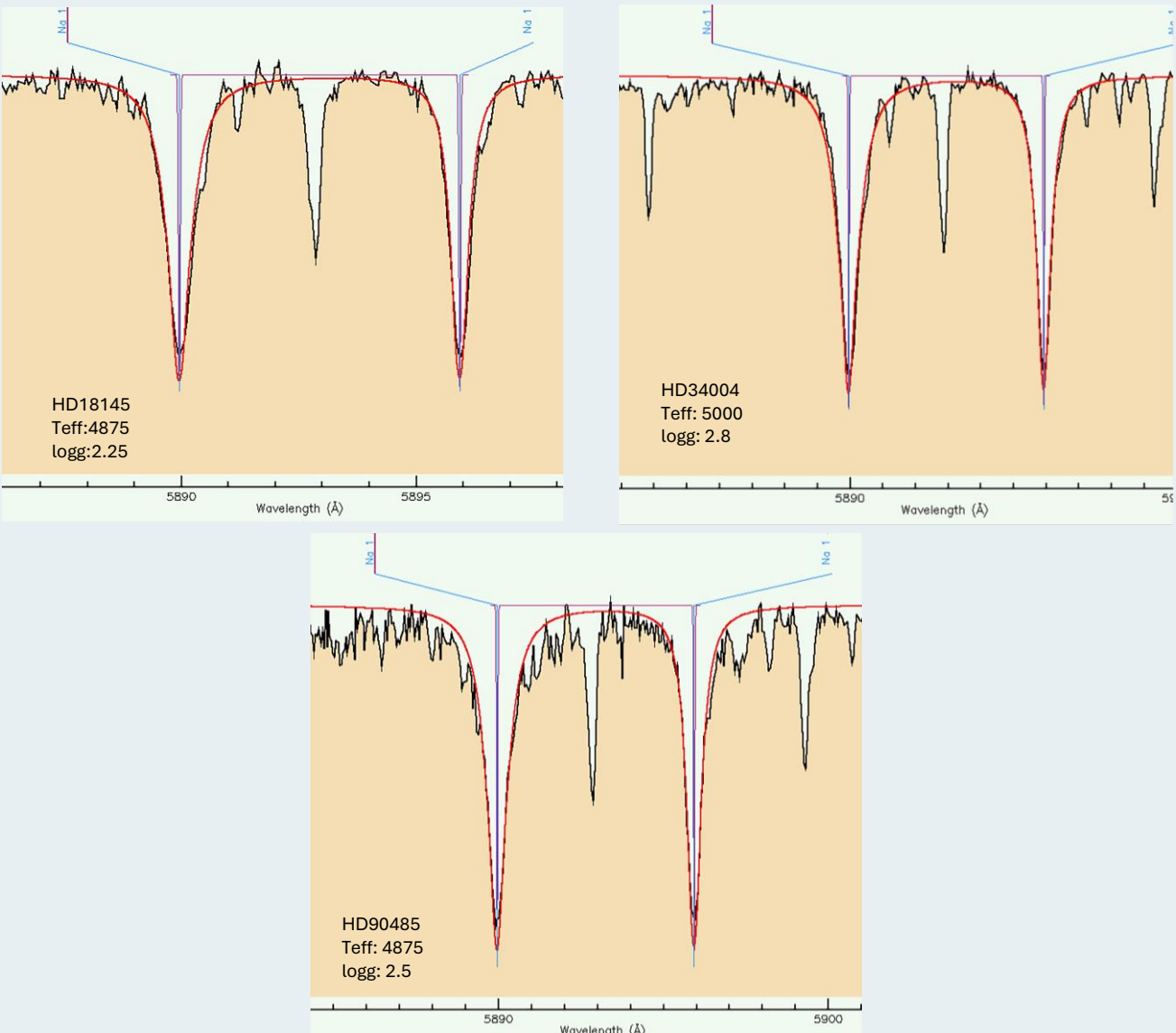
Bu çalışmada kullanılan tayfsal gözlemler Türkiye Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan RTT150 teleskobu ve Coude Echelle Spektrografı kullanılarak elde edildi. Gözlemler 2010, 2013 ve 2015 yıllarında $R \approx 55.000$ tayfsal çözünürlüğe sahip olacak şekilde her tayf için 1800 sn poz süresi kullanıldı ve ortalama 70–100 sinyal/gürültü (S/N) oranındaki tayflar elde edildi.

Tayfsal veriler IRAF yazılım paketi kullanılarak indirildi. İndirgeme sürecinde bias, dark ve flat-field düzeltmeleri uygulandı, saçılmış ışık etkisi giderildi ve tayf çıkarımı gerçekleştirildi. Dalgaboyu kalibrasyonu, aynı gözlem gecesinde alınan Thorium–Argon (Th–Ar) lamba tayfları kullanılarak yapıldı. Kalibre edilen tayflar daha sonra IDL ortamında geliştirilen özgün bir kod yardımıyla süreklilik seviyelerine göre normalize edildi.

Her yıldız için farklı tarihlerde elde edilen tayflar Doppler kaymaları dikkate alınarak aynı hız sistemine getirilerek yüksek S/N değeri elde etmek için birleştirildi (coadd işlemi).

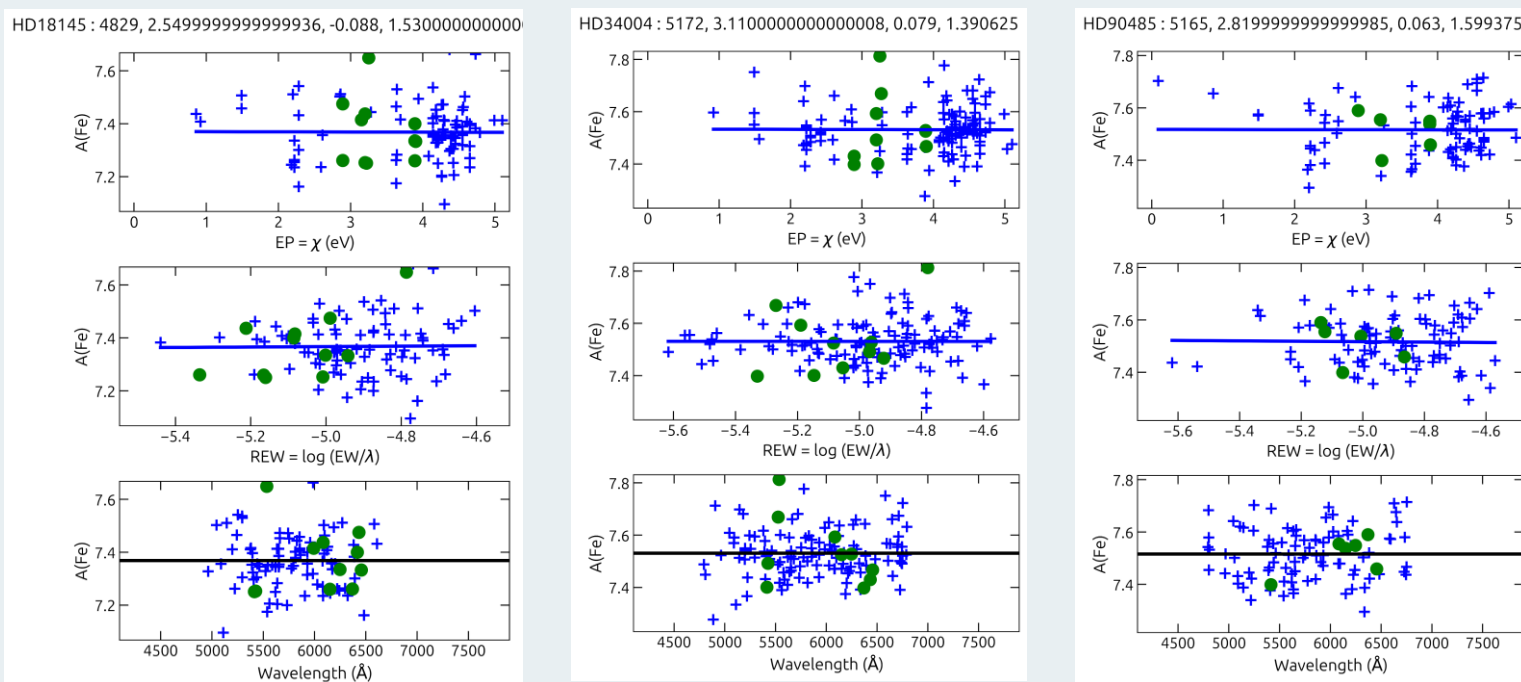
ANALİZ

Bu çalışmada seçilen aday yıldızların atmosfer parametreleri üç farklı teknikte elde edildi. Ancak, yıldızların başlangıç atmosfer parametrelerini belirlemek amacıyla fotometrik kataloglardan alınan çok bantlı fotometrik veriler, Gaia uzaklık bilgileri ve toz haritalarından elde edilen kızarma değerleri kullanılarak tayfsal enerji dağılımı (SED) analizleri gerçekleştirildi ve başlangıç etkin sıcaklık (Teff), yüzey çekim (logg) ve yıldızlararası sönmüleme parametreleri belirlendi. Atmosfer parametrelerini belirlemek için ilk olarak ATLAS [4] model atmosferleri ve VALD3 [5] atomik çizgi listeleri kullanılarak **SME [6]** kodu ile H α , H β , Mg I b ve Na D çizgilerine sentetik tayf uyuşması yapılarak Teff, logg, [Fe/H] ve dönme hızı (*v*sin*i*) değerleri belirlendi. (Şekil 1)



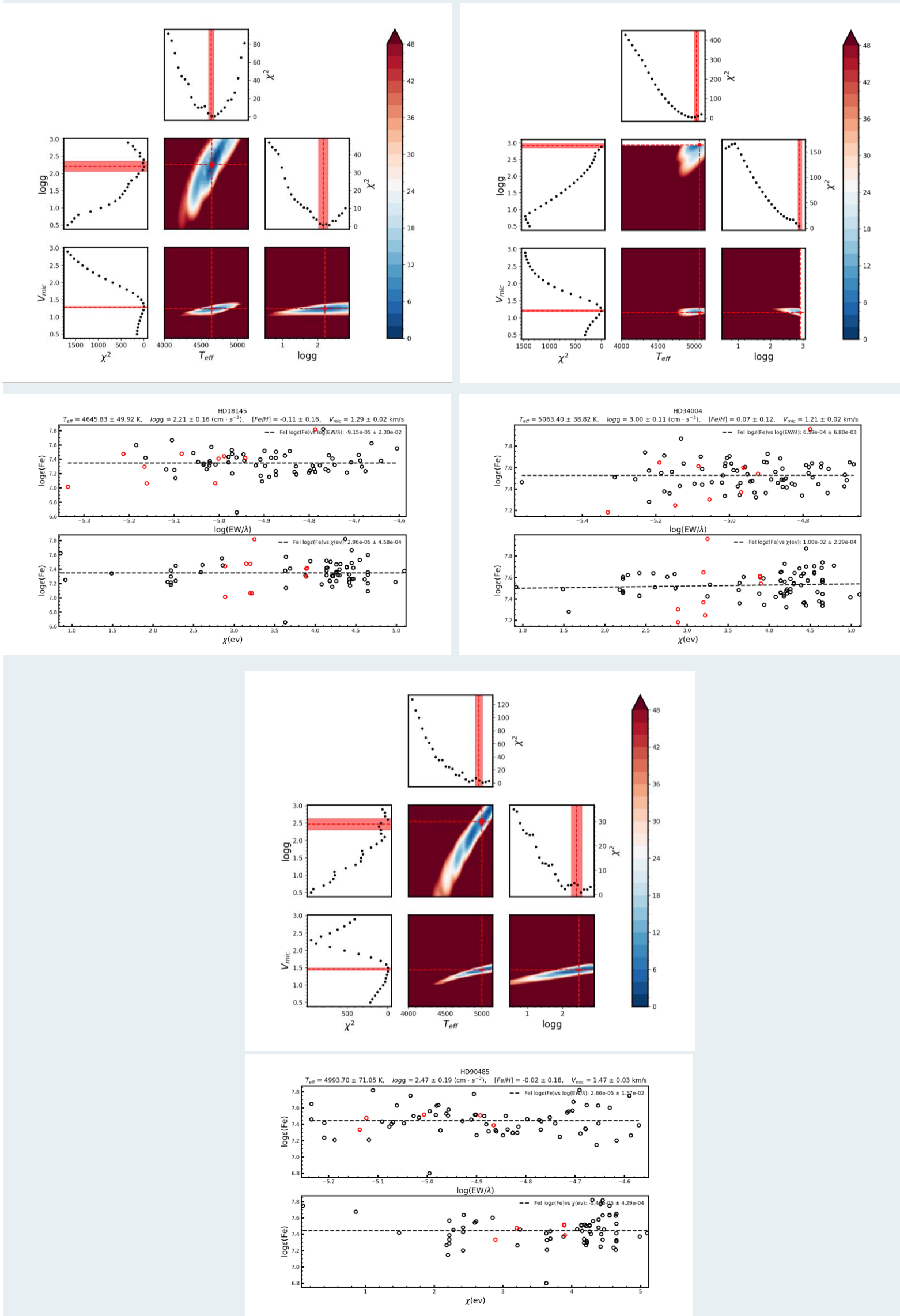
Şekil 1. SME kodu ile gözlenen Na D çizgilerine yapılan tayf uyumlaması.

İkinci yöntemde, 4500–6800 Å aralığında bulunan Fe I ve Fe II çizgilerinin eşdeğer genişlikleri ölçüldü. **MOOG** [7] kodu ve MARCS model atmosfer dosyaları kullanılarak demir elementine ait bolluklar hesaplandı. Uyarılma ve iyonizasyon dengesi yardımıyla da etkin sıcaklık, yüzey çekimi, mikrotürbülans hızı (ξ) ve metal bolluğu ([Fe/H]) hesaplandı (bkz Şekil 2).



Şekil 2. MOOG analizinden elde edilen Fe bolluğunun EP, REW ve dalga boyuna göre dağılımı.

Üçüncü yöntemde ise büyüme eğrisi yaklaşımını kullanan **LOTUS [8]** kodu kullanılarak Fe I ve Fe II ait büyüme eğrileri elde edildi ve Küresel Diferansiyel Evrim adı verilen bir optimizasyon algoritması ile teorik büyüme eğrileri eşleştirilerek adayların atmosfer parametreleri bağımsız olarak elde edildi. (bkz. Şekil 3)



Şekil 3. LOTUS ile elde edilen atmosfer parametreleri, Fe bollukları ve parametrelerin χ^2 dağılımları (üst panel).

Farklı tayısal yaklaşımlardan kaynaklanabilecek sistematik sapmaları en aza indirmek ve sonuçların istatistiksel güvenilirliğini artırmak amacıyla, aday yıldızların nihai atmosfer parametreleri uygulanan üç bağımsız yöntemin ortalaması temel alınarak türetildi Kabul edilebilir hata sınırları içindeki bu nihai değerler, detaylı olarak Tablo 1’de özetlendi.

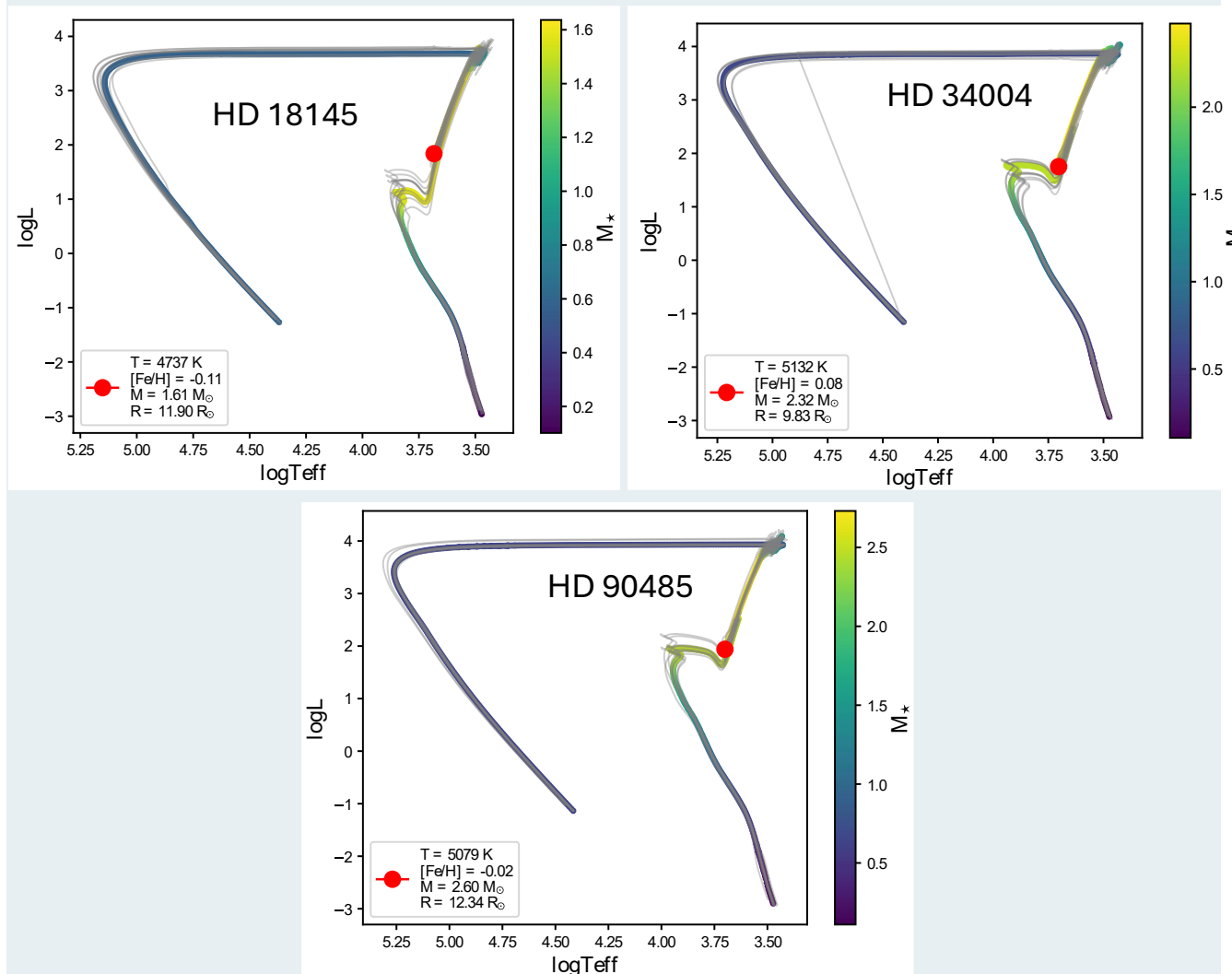
Tablo 1. Nihai atmosfer parametreleri.

Parametre	HD18145	HD34004	HD90485
Teff (K)	4737±49.92	5132±38.82	5079±71.05
logg (cgs)	2.38±2.21	3.12±0.11	2.65±0.19
vsini (kms ⁻¹)	4.74±3.32	5.36±3.43	6.32±3.17
ξt (kms ⁻¹)	1.53	1.39	1.6
[Fe/H](dex)	-0.11±0.16	0.08±0.12	-0.02±0.18

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

LOTUS, MOOG ve SME kodlarından elde edilen atmosfer parametrelerinin birbirleriyle ve bağımsız SED analizleriyle yüksek uyum göstermesi, HD 18145, HD 34004 ve HD 90485 için hesaplanan atmosfer parametrelerinin güvenilir ve sistematik hatalardan büyük ölçüde arındırılmış olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlara göre üç yıldızın da **G-K tayf türünde kırmızı dev evrim aşamasında** oldukları anlaşıldı. Kimyasal bolluk analizleri, HD 18145 **metalce fakir**, HD 34004'ün Güneş'e göre **biraz metalce zengin** ve HD 90485'in ise Güneş'le neredeyse benzer bir kimyasal kompozisyona sahip olduğunu göstermektedir. Tayfsal olarak belirlenen atmosfer parametreleri ve Gaia paralaksları ve yıldızlararası kızarma değerleri kullanılarak yıldızların HR diyagramındaki konumları ve MIST [9] izokron eşleştirmeleri sonucunda yıldızların evrimsel yaşları ile birlikte kütleleri de hesaplandı (bkz Şekil 4). Elde edilen mutlak parametreler ise Tablo 2 de verildi.



Şekil 4. Yıldızların MIST evrim modelleri üzerindeki konumları ve belirlenen kütleleri.

Tablo 2. Yıldızların elde edilen mutlak parametreleri

Parametre	HD18145	HD34004	HD90485
$M_{\odot}$	4737	5132	5079
$R_{\odot}$	2.38	3.12	2.65
d(pc)	162.48	136.05	187.97
$L^*/L_{\odot}$	90.47	56.19	93.07
BC(mag)	-0.42	-0.22	-0.24
log(Age[yr])	9.3	8.8	8.7
E(B-V)	0.64	0.10	0.38
π (mas)	6.15	7.35	5.32

HR diyagramındaki konumlar, üç yıldızın da kırmızı dev kolunda bulunduğunu doğrulamakta ve elde edilen atmosfer parametrelerinin yıldız evrim modelleri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Iben, I. Jr. (1967), *ApJ*, 147, 624.
- [2] Gray, D. F. (2005), *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres*, 3rd ed., Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Anders, F., Gispert, P., Ratcliffe, B., et al. (2023), *A&A*, 678, A158.
- [4] Castelli, F., & Kurucz, R. L. (2004), *arXiv:astro-ph/0405087*.
- [5] Ryabchikova, T., Piskunov, N., Kurucz, R. L., et al. (2015), *Phys. Scr.*, 90, 054005.
- [6] Valenti, J. A., & Piskunov, N. (1996), *A&AS*, 118, 595.
- [7] Sneden, C. A. (1973), PhD Thesis, The University of Texas at Austin, USA.
- [8] Li, Y., & Ezzeddine, R. (2023), *AJ*, 165, 145.
- [9] Choi, J., et al. (2016), *MESA Isochrones and Stellar Tracks (MIST). I. Solar-scaled Models*, *ApJ*, 823, 102.
- [9] Choi, J., et al. (2016), *ApJ*, 823, 102.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan gözlemler, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan RT150 teleskobu ve Coude Echelle tayfçekkerinden elde edilmiştir. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin gözlem olanakları ve sağlanan destek için teşekkür ederiz.