ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BAZI GERİ TAYF TÜRÜNDEN YILDIZLARIN ATMOSFER PARAMETRELERİNİN VE YAŞANABİLİRLİK SINIRLARININ BELİRLENMESİ

Didem Dilan İZCİ

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2025

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

BAZI GERİ TAYF TÜRÜNDEN YILDIZLARIN ATMOSFER PARAMETRELERİNİN VE YAŞANABİLİRLİK SINIRLARININ BELİRLENMESİ

Didem Dilan İZCİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mesut YILMAZ

Bu tez çalışmasının amacı, TESS (Transit Exoplanet Survey Satellite) fotometrik gözlemleri olan, ancak tayfsal çalışmaları bulunmayan geç tayf türünden 15 adet yıldızın atmosfer parametrelerini (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, mikro-türbülans hızı, metal bolluğu gibi) ve fiziksel parametrelerini (kütle, yarıçap gibi) belirlemektir. Buna ek olarak, belirlenen bu parametrelerle yıldızların evrimsel durumları hakkında bir bilgiye ulaşmak ve etraflarındaki yaşanabilir bölge (YB) sınırlarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda, hedef yıldızların tayfsal verileri Ankara Üniversitesi Kreiken Rasthanesi'nde yer alan yaklaşık 30000 çözünürlüklü tayfçeker kullanılarak elde edildi. Elde edilen tayflar üzerinden demir (Fe I ve Fe II) çizgilerinin eşdeğer genişlik ölçümleri yapılarak, LOTUS kodu ile atmosfer parametreleri belirlendi. Bu analiz için gerekli başlangıç parametre seti, ARIADNE kodu ile yapılan Sürekli (Tayfsal) Enerji Dağılım (SED) fitleri yoluyla elde edildi. Analiz sonucunda aday yıldızlardan 14'ünün nihai atmosfer parametreleri ve uzaklık bilgilerinden hareketle kütle ve yarıçapları hesaplandı. Yıldızlar Hertzsprung-Russell diyagramına yerleştirildiklerinde kırmızı dev kolunda evrimleşmiş orta kütleli (0.69 $M_{\odot}$ ile 8.63 $M_{\odot}$ aralığında değişen) yıldızlar olduğu görüldü. Ayrıca elde edilen parametreler yardımıyla yıldız evrim modelleri kullanılarak adayların yaşları da hesaplandı. Buna göre aday yıldızların yaşları 0.10 Gyıl ile 13.25 Gyıl arasında değişim gösterdiği belirlendi. Son olarak, hesaplanan fiziksel parametreler yardımıyla aday yıldızların yaşanabilir bölge (YB) sınırları hesaplandı ve literatürdeki sonuçlarla karşılaştırıldı. Yıldızlar kırmızı dev olduğundan, YB sınırlarının beklendiği gibi genişlemiş ve yıldıza daha uzak bir konumda bulunduğu tespit edildi.

Şubat 2025, 223

Anahtar Kelimeler: Yıldızlar, temel parametreler, yıldız parametreleri, yıldız atmosferleri, geç tayf türü, dev yıldızlar, yaşanabilir bölge

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF STELLAR ATMOSPHERE PARAMETERS AND HABITABLE ZONES OF SOME LATE TYPE STARS

Didem Dilan İZCİ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Mesut YILMAZ

The aim of this thesis is to determine the atmospheric parameters (e.g. effective temperature, surface gravity, microturbulence velocity and metallicity) and physical parameters (e.g. mass and radius) of 15 late type stars observed photometrically by TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) but lacking spectroscopic studies. Additionally, the study aims to provide insight into the evolutionary status of these stars based on the determined parameters and to determine the boundaries of their habitable zones (HZ). In this scope, the spectral data of the stars were obtained using a spectrograph with a resolution of about 30000, located at Ankara University Kreiken Observatory. Equivalent width measurements of iron lines (Fe I and Fe II) were performed on the obtained spectra and the atmospheric parameters were derived using the LOTUS code. For these analysis, the initial parameter set was provided by Spectral Energy Distribution (SED) fitting with the ARIADNE code. As a result of the analysis, the masses and radii of 14 candidate stars were calculated based on their final atmospheric parameters and distance information. When the stars were placed on the Hertzsprung-Russell diagram, it was seen that they were intermediate-mass stars (ranging from 0.69 $M_{\odot}$ to 8.63 $M_{\odot}$) that evolved in the red giant branch (RGB). In addition, the ages of the candidates were calculated using stellar evolution models with the help of the obtained parameters. Accordingly, it was determined that the ages of our candidates varied between 0.10 Gyr ile 13.25 Gyr. Finally, the habitable zone (HZ) boundaries of the candidate stars were calculated with the determined physical parameters and compared with the results in the literature. Since the stars are red giants, their HZ boundaries were found to be expanded and located farther away from them, as expected.

February 2025, 223

Key Words: Stars, fundamental parameters, stellar parameters, stellar atmospheres, late spectral type, giant stars, habitable zone

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER

Gökyüzüne her baktığımızda, bize milyonlarca ışık yılı uzaktan göz kırpan yıldızlar görürüz. Yaşadığımız evrinin engin genişliğinde, gökyüzüde gördüğümüz bu yıldızlar büyüleyici sırlar barındırır. Ancak bu yıldızların büyüleyici sırlarını çözmek için bilim insanlarının elinde bir pusula vardır; bu da yıldız parametreleridir. Yıldız parametreleri, bir yıldızın kim olduğunu anlatan kimlik kartı gibidir. Etkin sıcaklık, yüzey çekim kuvveti, metal bolluğu gibi atmosferik özellikler; kütle, yarıçap ve yaş gibi fiziksel nitelikler yıldızların karakteristik özelliklerini oluşturur. Bu parametreler, yıldızın ne kadar parlak olduğunu, hangi bileşime sahip olduğunu, yaşam döngüsünü anlamamıza yardımcı olur. Bu bilgiler, sadece yıldızın kendisi hakkında değil, aynı zamanda yıldızın çevresi ve evrenin genel yapısı hakkında da önemli ipuçları sunar. Yıldız parametreleriyle ölçülen yıldıza ait özellikler, onun dahil olduğu sistemi ve eğer varsa gezegenlerini, hatta onlar üzerindeki yaşam kriterlerimizi belirler. Yıldızların sırlarını çözmek için, teleskoplardan elde edilen ışık eğrilerinden, tayf analizlerinden ve hatta yıldızın titreşimlerini inceleyen asterosismoloji yönteminden faydalanır. Her bir bilgi parçası, yıldızların evrendeki büyük resimdeki yerini anlamamıza bir adım daha yaklaştırır. Gökyüzüne bir dahaki bakışınızda, yıldızların sadece güzel birer ışık noktası olmadığını; onların, evrenin ve içinde yaşadığımız sistemin tarihine ışık tutan devasa bilgi hazineleri olduğunu hatırlayın. Yıldız parametreleri, bu hazineleri keşfetmek için kullanacağımız önemli anahtarlardan sadece biridir.

Merakla başladığım yüksek lisans ve doktora öğrenimim boyunca, alanındaki bilgi ve tecrübesi ile desteğini ve önerilerini eksik etmeyen, olumsuz şartlara rağmen çabalamam için beni motive eden sevgili danışman hocam Prof. Dr. Mesut YILMAZ'a (Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) teşekkür ediyorum.

Doktora tez çalışmam boyunca bilgi ve önerileri ile beni yönlendiren Prof. Dr. Hakan Volkan ŞENAVCI'ya (Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) ve Doç. Dr. Taner TANRIVERDİ'ye (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı) ayrıca teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca beni olumsuzluklara karşı savaşmam için motive eden, desteğini, bilgi ve tecrübesini hiç esirgemeyen sevgili babam Muharrem İZCİ'ye ve hep yanımda olan, beni bu yolculuğumda destekleyen sevgili canım AİLEME yürekten teşekkür ediyorum, iyi ki varsınız sizi sevgiyle kucaklıyorum. Bu süreçte benden desteğini ve motivasyonunu eksik etmeyen sevgili Ali Deveciler'e ayrıca teşekkür ediyorum.

Didem Dilan İZCİ
Ankara, Şubat 2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **viii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xviii**
1. GİRİŞ **1**
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ **7**
2.1 Yıldız Parametreleri **7**
2.2 Yıldız Atmosfer Parametrelerinin Tayfsal Yollarla Belirlenmesi **12**
2.2.1 Eşdeğer genişlik yöntemi **15**
2.2.2 Sentetik tayf fiti yöntemi **23**
2.2.3 Model atmosfer için LTE ve NLTE etkileri **24**
2.3 Yıldız Parametrelerinin Tayfsal Enerji Dağılımı Yoluyla Belirlenmesi **29**
2.4 Yıldızların Yaşanabilir Bölge ve Sınırlarının Tanımları **30**
2.4.1 Yaşanabilirliği etkileyen koşullar **36**
2.4.2 Yaşanabilir bölge sınırlarının hesaplanması **40**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **47**
3.1 Aday Yıldızların Seçimi **47**
3.2 Aday Yıldızlar Hakkında Yapılan Önceki Çalışmalar **48**
3.3 Aday Yıldızların Tayfsal Gözlemleri **52**
3.4 Tayfsal Gözlem Verilerinin İşlenmesi **53**
3.5 Aday Yıldızların Eşdeğer Genişlik Ölçümü **56**
3.6 Aday Yıldızların Parametrelerinin Belirlenmesi **58**
3.6.1 SED analizi ile parametre hesabı **58**
3.6.2 LOTUS programı ile atmosfer parametrelerinin hesabı **61**
3.7 Aday Yıldızların Mutlak Parametrelerinin Hesabı **66**
3.8 Aday Yıldızların Yaşanabilir Bölge Sınırlarının Hesabı **68**
3.9 Yıldızların Evrim Yollarının Hesaplanması **69**
4. ARAŞTIRMA BULGULARI **70**
4.1 Aday Yıldızların Atmosfer ve Mutlak Parametreleri **70**
4.1.1 HD 11844 yıldızının atmosfer parametreleri **73**
4.1.2 HD 16028 yıldızının atmosfer parametreleri **78**
4.1.3 HD 23049 yıldızının atmosfer parametreleri **83**
4.1.4 HD 25350 yıldızının atmosfer parametreleri **88**
4.1.5 HD 28171 yıldızının atmosfer parametreleri **93**
4.1.6 HD 34190 yıldızının atmosfer parametreleri **98**
4.1.7 HD 60935 yıldızının atmosfer parametreleri **103**
4.1.8 HD 74653 yıldızının atmosfer parametreleri **108**
4.1.9 HD 177697 yıldızının atmosfer parametreleri **113**
4.1.10 HD 187734 yıldızının atmosfer parametreleri **115**
4.1.11 HD 188484 yıldızının atmosfer parametreleri **120**

4.1.12 HD 193090 yıldızının atmosfer parametreleri 125
4.1.13 HD 196345 yıldızının atmosfer parametreleri 130
4.1.14 HD 204603 yıldızının atmosfer parametreleri 135
4.1.15 HD 215705 yıldızının atmosfer parametreleri 140
4.2 Aday Yıldızların Yaşanabilir Bölge Sınırları 145
4.3 Yıldızların Evrim Durumları 154
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 156
KAYNAKLAR 165
EKLER 182
EK 1 ADAY YILDIZLARIN TESS IŞIK EĞRİLERİ 183
EK 2 ADAY YILDIZLARIN EW ÖLÇÜMLERİ 197
ÖZGEÇMİŞ 222

SİMGELER DİZİNİ

Å	Angström
K	Kelvin
T_{eff}	Etkin Sıcaklık
logg	Yüzey Çekim İvmesi (cgs)
$v\sin i$	Dönme Hızı
[M/H]	Metal Bolluğu
$R_\odot$	Güneş Yarıçapı
$L_\odot$	Güneş'in Işınım Gücü, 3.84×10^{33} erg/sn
$M_\odot$	Güneş Kütlesi, 1.99×10^{33} gr
L	Işınım Gücü
R	Yarıçap
M	Kütle
α	Sağ açıklık
δ	Dik açıklık
λ	Dalgaboyu
υ_{mic}	Mikrotürbülans
m_v	Görsel Parlaklık
M_{bol}	Bolometrik Mutlak Parlaklık
M_V	Mutlak Görsel Parlaklık
π	Paralaks
G	Evrensel Kütle Çekim Sabiti
W_v	Eşdeğer Genişlik
σ	Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67037442 \times 10^{-8}$ kg s^{-3} K^{-4})
AB	Astronomi Birimi
S_{eff}	Dünya Benzeri Bir Gezegenin Atmosfer Yüzeyine Ulaşan Yıldız Akısı
d	Uzaklık
$S_\oplus$	Güneş Sabiti (1368 Wm^{-2})
pc	Parsek
χ	Uyarılma Potansiyel Enerji

Kısaltmalar

TESS	Transit Exoplanet Survey Satellite
YB	Yaşanabilir Bölge
CHZ	Sürekli Yaşanabilir Bölge
OHZ	İyimser Yaşanabilir Bölge
EW	Eşdeğer Genişlik
BD	Bolometrik Düzeltme
SED	Tayfsal Enerji Dağılımı
S/N	Sinyal/Gürültü Oranı
NLTE	Yerel Olmayan Termodinamik Denge
LTE	Yerel Termodinamik Denge
IDL	Interactive Data Language
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility
COG	Büyüme Eğrisi
GCOG	Genelleştirilmiş Büyüme Eğrisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Farklı tayf türüne dolayısıyla sıcaklığa sahip yıldızların tayflarındaki karakteristik elementlerin göreceli çizgi şiddetleri (Trypsteen ve Walker 2017) 5

Şekil 2.1 Gözlenen Hβ ve Hδ çizgisi ve bu çizgilere yapılan profil fiti (Catanzaro vd. 2013 14

Şekil 2.2 Gözlenen Mg I triplet çizgileri ve bu çizgilere yapılan profil fiti (Catanzaro vd. 2013) 15

Şekil 2.3 Örnek bir tayf çizgisinin gösterimi (Gray ve Corbally 2009 16

Şekil 2.4 Eşdeğer genişliğin (W_v) şematik tanımı. İçerisindeki tüm fotonları soğuran hayali dikdörtgen alan, ilişkili olduğu atomik çizgiyle aynı miktarda enerjiyi soğuracak şekilde bir genişliğe sahiptir (Pradhan ve Nahar 2011) 17

Şekil 2.5 6065Å'deki FeI soğurma çizgisinin eşdeğer genişliğinin (log$W\lambda$) soğurucu atom sayısına bağlılığı ve buna bağlı olarak büyüme eğrisi. Üst paneldeki büyüme eğrisi üzerindeki her bir daire, alt paneldeki bir çizgi profiline karşılık gelmektedir (Gray 2005) 19

Şekil 2.6 Belirli bir atomik çizgi için bolluğun (A) eşdeğer genişlik (W_λ) üzerindeki etkisini gösteren büyüme eğrisi (COG). Şekilde, eğrinin çeşitli kısımlarında eşdeğer genişliğin bolluğa bağlılığı gösterilmektedir (Pradhan ve Nahar 2011) 20

Şekil 2.7 Güneş'teki Fe I ve Ti I çizgileri için oluşturulmuş gözlemsel büyüme eğrisi. Eşdeğer genişliğe karşı geçişlerinin osilatör şiddetine dayalı bollukları (Rutten 2003) 21

Şekil 2.8 Kane vd. nin (2016) çalışmasında kullandığı gezegenlerden doğrulanmış adaylar (dolu mavi daireler) ve doğrulanmamış adaylar (kırmızı daireler) için sürekli ve iyimser YB sınırlarının gösterimi. 32

Şekil 2.9 Farklı yüzey sıcaklığına sahip yıldızlar için YB sınırları. Yeşil renkli alan, nemli sera sınırı ve maksimum sera sınırı tarafından belirlenen YB sınırlarını göstermektedir. Yeşil bölgede kesikli çizgiler arasında olan bir gezegen aldığı ışınıma ve yıldızının türüne bağlı olmadan YB içinde kabul edilir. Önceki çalışmalarda YB içinde olduğu düşünülen bazı ötegezegenler de gösterilmektedir. Gl 581 ve Tau Ceti sistemlerindeki gezegenler için gösterilen soru işareti, gezegenlerin varlığının tartışıldığı anlamına gelmektedir (Kopparapu vd. 2013a) 35

Şekil 2.10 $1M_\odot$ kütleli bir yıldızın farklı metal bollukları için (Z = 0.0255 mavi, Z = 0.014 siyah, Z = 0.0043 kırmızı ve Z = 0.0005 yeşil) YB sınırlarının evrimi. YB'nin iç sınırı ($R_{iç}$) düz çizgi ile, dış sınırı ($R_{dış}$) kesikli çizgi ile temsil edilmektedir (Gallet vd. 2017) 38

Şekil 3.1 HD 16028 yıldızına ait birleştirme işleminden bir örnek. Renkli olarak çizdirilen tayflar farklı zamanlarda alınan tayfları, siyah tayf ise birleştirme işlemi sonucunda elde edilen yüksek S/N tayfını göstermektedir 55

Şekil 3.2 REvIEW kodu ile Fe I (üstte) ve Fe II (altta) çizgisi için yapılan örnek EW ölçümü. Grafikte düz olarak inen kesikli mavi çizgi, çizgi listesine göre çizginin konumunu ve yatay kesikli fit sürekliliğin yerini göstermektedir. Kırmızı fit ise çizgi profili için yapılan en iyi modeli temsil etmektedir 57

Şekil 4.1 HD 11844 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir 74

Şekil 4.2 HD 11844 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği .. 75

Şekil 4.3 HD 11844 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 76

Şekil 4.4 HD 11844 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 77

Şekil 4.5 HD 11844 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 78

Şekil 4.6 HD 16028 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir 79

Şekil 4.7 HD 16028 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği .. 80

Şekil 4.8 HD 16028 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 81

Şekil 4.9 HD 16028 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 82

Şekil 4.10 HD 16028 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 83

Şekil 4.11 HD 23049 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir 84

Şekil 4.12 HD 23049 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 85

Şekil 4.13 HD 23049 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 86

Şekil 4.14 HD 23049 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 87

Şekil 4.15 HD 23049 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 88

Şekil 4.16 HD 25350 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 89

Şekil 4.17 HD 25350 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 90

Şekil 4.18 HD 25350 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 91

Şekil 4.19 HD 25350 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 92

Şekil 4.20 HD 25350 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 93

Şekil 4.21 HD 28171 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 94

Şekil 4.22 HD 28171 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 95

Şekil 4.23 HD 28171 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 96

Şekil 4.24 HD 28171 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 97

Şekil 4.25 HD 28171 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 98

Şekil 4.26 HD 34190 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 99

Şekil 4.27 HD 34190 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 100

Şekil 4.28 HD 34190 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 101

Şekil 4.29 HD 34190 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 102

Şekil 4.30 HD 34190 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 103

Şekil 4.31 HD 60935 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 104

Şekil 4.32 HD 60935 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 105

Şekil 4.33 HD 60935 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 106

Şekil 4.34 HD 60935 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 107

Şekil 4.35 HD 60935 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 108

Şekil 4.36 HD 74653 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 109

Şekil 4.37 HD 74653 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 110

Şekil 4.38 HD 74653 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 111

Şekil 4.39 HD 74653 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 112

Şekil 4.40 HD 74653 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 113

Şekil 4.41 HD 177697 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 114

Şekil 4.42 HD 177697 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 115

Şekil 4.43 HD 187734 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir 116

Şekil 4.44 HD 187734 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 117

Şekil 4.45 HD 187734 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 118

Şekil 4.46 HD 187734 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 119

Şekil 4.47 HD 187734 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 120

Şekil 4.48 HD 188484 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir 121

Şekil 4.49 HD 188484 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 122

Şekil 4.50 HD 188484 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 123

Şekil 4.51 HD 188484 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 124

Şekil 4.52 HD 188484 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 125

Şekil 4.53 HD 193090 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir 126

Şekil 4.54 HD 193090 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 127

Şekil 4.55 HD 193090 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 128

Şekil 4.56 HD 193090 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 129

Şekil 4.57 HD 193090 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 130

Şekil 4.58 HD 196345 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 131

Şekil 4.59 HD 196345 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 132

Şekil 4.60 HD 196345 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 133

Şekil 4.61 HD 196345 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 134

Şekil 4.62 HD 196345 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 135

Şekil 4.63 HD 204603 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 136

Şekil 4.64 HD 204603 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 137

Şekil 4.65 HD 204603 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 138

Şekil 4.66 HD 204603 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 139

Şekil 4.67 HD 204603 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 140

Şekil 4.68 HD 215705 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir..... 141

Şekil 4.69 HD 215705 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği 142

Şekil 4.70 HD 215705 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir..... 143

Şekil 4.71 HD 215705 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir..... 144

Şekil 4.72 HD 215705 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir..... 145

Şekil 4.73 HD 11844 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 147

Şekil 4.74 HD 16028 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 148

Şekil 4.75 HD 23049 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 148

Şekil 4.76 HD 25350 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 149

Şekil 4.77 HD 28171 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 149

Şekil 4.78 HD 34190 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 150

Şekil 4.79 HD 60935 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 150

Şekil 4.80 HD 74653 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 151

Şekil 4.81 HD 187734 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 151

Şekil 4.82 HD 188484 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 152

Şekil 4.83 HD 193090 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 152

Şekil 4.84 HD 196345 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 153

Şekil 4.85 HD 204603 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 153

Şekil 4.86 HD 215705 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir 154

Şekil 4.87 Aday yıldızların H-R diyagramındaki yerleri (içi dolu koyu noktalar), Z = 0.008 (düz çizgiler) ve Z = 0.03 (kesik çizgiler) için 1-6 $M_{\odot}$ kütleleri için teorik evrim yollarını göstermektedir..... 155

Şekil 5.1 LOTUS ve SED ile elde edilen T_{eff} değerlerinin karşılaştırılması..... 159

Şekil 5.2 LOTUS ve SED ile elde edilen logg değerlerinin karşılaştırılması..... 159

Şekil 5.3 Aday yıldızların iyimser YB iç sınırlarının yaşlarına göre gösterimi. 1-7 $M_{\odot}$ kütleleri için teorik YB sınır hesaplamaları (Girardi vd. 2000) kesikli çizgilerle gösterilmektedir 162

Şekil 5.4 Aday yıldızların iyimser YB dış sınırlarının yaşlarına göre gösterimi. 1-7 $M_{\odot}$ kütleleri için teorik YB sınır hesaplamaları (Girardi vd. 2000) kesikli çizgilerle gösterilmektedir 163

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Yıldız akıları ve yaşanılabilir bölge sınırları (Kasting vd. 1993,Underwood vd. 2003) 42

Çizelge 2.2 Erken Mars ve son Venus sınır kriterlerine dayanan mevcut Güneş YB sınırlarını %50 ve %100 bulutluluk oranlarına bağlı vermektedir (Selsis vd. 2007) 44

Çizelge 2.3 2600 K ≤ Teff ≤ 7200 K aralığındaki yıldızların yaşanabilir yıldız akılarını hesaplamak üzere kullanılan katsayılar ve bunlara karşılık gelen yaşanabilir bölgeler (Kopparapu vd. 2013b). Katsayılar bulutsuz bir iklim modeli kullanılarak hesaplanmıştır 45

Çizelge 3.1 Seçilen aday yıldız listesi ve SIMBAD Astronomik Veri Tabanı'ndan (Wenger vd. 2000) alınan bilgileri 47

Çizelge 3.2 Seçilen aday yıldızların TESS ile gözlenen sektörlerleri 48

Çizelge 3.3 Famaey vd. nin (2005) çalışmasına dâhil edilen aday yıldızlar ve elde edilen sonuçlar 50

Çizelge 3.4 McDonald vd. nin (2012) çalışmasına dâhil edilen aday yıldızlar ve çalışma kapsamında elde edilen parametreler 51

Çizelge 3.5 Kervella vd. nin (2019) çalışmasında dâhil edilen aday yıldızlar ve çalışma kapsamında elde edilen parametreler 52

Çizelge 3.6 Aday yıldızların tayfsal gözlem bilgileri 53

Çizelge 3.7 Tayfsal verilerin S/N oranları 56

Çizelge 3.8 SED atmosfer modelleri ve limitleri 61

Çizelge 3.9 LOTUS'da farklı yıldız türleri için belirlenen limitler 63

Çizelge 3.10 LOTUS programı ile aday yıldızların analizleri sırasında kullanılan başlangıç parametre bilgileri 65

Çizelge 4.1 SED analizi ile elde edilen yıldız parametreleri 71

Çizelge 4.2 LOTUS kodu ile elde edilen atmosfer parametreleri 72

Çizelge 4.3 Aday yıldızlar için hesaplanan mutlak parametreler 73

Çizelge 4.4 Aday yıldızların yaşanabilir bölge sınırları. Güneş'in YB sınırlarıda ayrıca çizelgede verilmektedir. Koyu gri olan Sürekli YB'nin iç ve dış sınırlarını, daha açık gri olan alan ise İyimser YB'nin iç ve dış sınırlarını göstermektedir (Kopparapu vd. 2013b) 146

Çizelge 4.5 Aday yıldızların ana kol kestirimi yapıldığında YB sınırları. Çizelgede Güneş için hesaplanan YB sınır değerleride de yer almaktadır (Kopparapu vd. 2013b) 146

1. GİRİŞ

İnsanlar binlerce yıldır yıldızları incelemiş, onlar hakkında sorular sormuş ve bu soruların cevaplarını aramıştır. Birçok kültürde yıldızlar, her şeyin hareket edip değişmesine karşın, sabitliğin bir metaforu olarak görülmüştür. Modern astronomi ise bunun böyle olmadığını; yıldızların, bizim zaman algımızın daha ötesinde, insanlık tarihinden bile daha uzun süreler boyunca çeşitli zaman ölçeklerinde değiştiğini göstermektedir. Yıldızlar doğar, yaşamları boyunca değişir ve ölür. Bu süreç boyunca çevrelerinin kimyasını ve yapısını etkiler, varsa yörüngelerindeki gezegenler için bir yuva sağlarlar. Astronomi ise bir yıldızın bu sürecinin her adımını incelemeye çalışmakta ve yıldızları hem tekil hem de bir popülasyonun üyeleri olarak ele almaktadır. Evrendeki evimiz Samanyolu'nun barındırdığı yıldız çeşitliliği bu incelemeler için bize eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Tek yapmamız gereken, bu yıldızları doğru bir şekilde gözlemleyip analizlerini yapmaktır. Böylece bu analizlerin artmasıyla, içinde yaşadığımız galaksimizin ve yıldız sistemlerinin anlaşılmasına bir adım daha yaklaşabiliriz. Günümüzde her ne kadar galaksimizin yeterince iyi bir resmine sahip olduğumuzu iddia etsek de, bildiklerimiz adeta bilmediklerimizin habercisi niteliğindedir. Bu nedenle unutulmamalıdır ki yıldızları anlamak evreni anlamanın anahtarlarından biridir.

Bir yıldızın doğasının anlaşılması ve çeşitlendirilmesi için tekil yıldız analizleri oldukça önemli bir yere sahiptir. Tekil yıldızların özelliklerinin belirlenmesi yıldıza ait fiziksel ve atmosfer parametrelerinin iyi bilinmesini gerektirir. Bu parametrelerin başında yıldızın kütlesi (M), ışınım gücü (L) ve yarıçapı (R) gelmektedir. Bu üç parametre yıldızın fiziksel parametrelerdir ve yıldızı kabaca anlamamızı sağlarlar. Bunun yanı sıra, yıldıza ait atmosferik parametreler de (etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey yerçekimi (logg), yıldız metal bolluğu ([M/H]) ve dönme hızı (vsin *i*)) yıldızı karakterize eden diğer önemli parametrelerdendir. Bunların sağlıklı bir şekilde belirlenmesiyle yıldızın doğası hakkında en doğru bilgiye ulaşılabilir. Bunun içindir ki tek yıldız analizleri ve yapılan her bir çalışma ile elde edilen paramateler, onları daha iyi anlamamızı sağlamaktadır. Böylece yıldızların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenebilir (Jofre vd. 2019, Takeda ve Honda

2020) ve evrimsel aşamaları hakkında doğru sonuçlara ulaşılabilir. Bu da galaksimizdeki yıldız popülasyonlarını ve galaksimizi anlamada yardımcı olacaktır (McWilliam 1997, Kobayashi vd. 2006). Ayrıca ötegezegenler için gezegen barındıran yıldızların kimyasal bileşimi ile gezegen oluşumları arasındaki olası boşlukları doldurmada, bu temel yıldız parametreleri kritik bir öneme sahiptir (Plez 2013, Alves vd. 2015, Jofré vd. 2015, Mann vd. 2019; Schweitzer vd. 2019). Günümüzde radyal hız ve geçiş fotometrisi gibi gözlemsel yöntemler ile bir gezegenin kütlesini ve yarıçapını ortaya koyabilsek de, bu ölçümlerin doğruluğu ve duyarlılığı yine yıldız için hesaplanan temel parametrelere bağlı kalmaktadır. Bu yüzden yıldıza ait bu parametrelerin evrim durumlarına göre incelenmesi ve güvenilir yöntemlerle belirlenmesi, o yıldızın doğasının ve varsa gezegenlerinin anlaşılmasında oldukça önemlidir. Yıldızların fiziksel ve atmosferik özelliklerine dayanan bu parametreleri ölçmek, astronomide uzun süredir devam eden önemli aşamalardan biridir.

Bahsedilen bu temel yıldız parametreleri, tayfsal, fotometrik, interferometrik gözlemler gibi çeşitli gözlem türlerinden biri veya daha fazlası kullanılarak elde edilebilir. Çağımızda oldukça sık kullanılan fotometrik ölçümler çok sayıda yıldız için parametre hesabı yapılmasına izin vermektedir. Bunun yanı sıra daha sık kullanılan tayfsal gözlemler bu parametreleri daha hassas olarak tahmin edilebilir hale getirmektedir.

Bu temel parametreler yüksek hassasiyetle ve yıldız modellerinden bağımsız olarak örten çift yıldızlardan rahatlıkla elde edilebilmektedir. Bu sistemlerinin ışık eğrilerinin ve radyal hızlarının analizi ile kütle ve yarıçap için oldukça kesin ölçümler yapılabilmektedir. Örten çift yıldızlar dışında son zamanlarda astrosismoloji de, bazı temel parametreleri sağlamada oldukça kullanışlı olmaktadır. Özellikle Kepler ve CoRoT misyonlarından elde edilen uzay tabanlı hassas fotometri (Borucki vd. 2010; Auvergne vd. 2009) ve astrosismoloji yadımıyla yıldız kütlesi ve yarıçapı belirlenebilmektedir (Huber vd. 2013). Astrosismoloji bazı yıldızlar için doğru ve güvenilir parametre belirlenmesine olanak sağlamış olsa da, tüm yıldız tipleri için uygulanabilir olmamaktadır. Bunların yanı sıra, yıldızların açısal boyutlarını doğrudan ölçmek için oldukça kullanışlı bir yöntem olan optik ve kızılötesi (IR) interferometri (von Braun vd.

2014) ile paralaks ölçümleri ve yıldız tayfları birleştirildiğinde yıldıza ait sıcaklık ve yarıçap hesaplanabilir. Ancak interferometri, yakın ve parlak yıldızları gerektirdiği için şu an yalnızca sınırlı sayıda yıldızda uygulanabilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerin yanı sıra temel parametrelerden biri olan kütlenin elde edilmesi için, doğrudan belirlenen yarıçap ile birleştirilmiş logg 'nin tayfsal ölçümüne veya sıcaklık, yarıçap ve yıldızın metal bolluğu gibi parametrelerin tayfsal ölçümlerini girdi olarak kullanan yıldız yapı modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu yöntemlerin dışında yıldız parametrelerinin günümüzde büyük ölçekli tayfsal araştırmalarla elde edildiği yeni bir çağın ortasındayız. Bu yıldızların tayfsal çalışmaları arasında SEGUE (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration) (Lee vd. 2006), RAVE (RAdial Velocity Experiment) (Steinmetz vd. 2006), LAMOST (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) (Zhao vd. 2006, Deng vd. 2012), APOGEE (Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment) (Majewski vd. 2017), Gaia-ESO (Gilmore vd. 2012) ve HERMES/GALAH (GALactic Archaeology with HERMES) (De Silva vd. 2015) gibi oldukça büyük potansiyele sahip araştırmalar mevcuttur. Bu araştırmalar kapsamında daha önce bilinen tayfların ve bunlara karşılık gelen yıldız parametrelerinin, elle incelenmesinden, teorik prensiplere dayalı otomatik araçlara kadar uzanan farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu ve bunun gibi birçok çalışma sayesinde çok sayıda farklı türdeki yıldız için çeşitli çözünürlüklerde tayf ve onlara ait parametre setleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmalar büyük ve tekil yıldız gruplarının anlaşılması ve temel özelliklerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir.

Tayfsal verilerinin sağlıklı bir şekilde analizi ile tekil yıldızların parametrelerinin elde edilebileceğini birçok araştırmacı göstermiştir (Valenti ve Fischer 2005, Kulenthirarajah vd. 2019). Bu hesaplamalar gözlenen tayfların, yıldız tayf kütüphaneleri ile karşılaştırılmasına veya ışınım transfer denklemlerini içeren modellere dayanmaktadır (Valenti ve Fischer 2005, Brewer vd. 2016). Elde edilen tayfsal veriler üzerinden bu modellemeler genellikle iki stratejiden biri izlenerek yapılmaktadır. Bunlardan biri de eşdeğer genişlik ölçümü (EW) yöntemi (Sousa vd. 2014, Tabernero vd. 2012) diğeri ise sentetik tayf fiti yöntemidir (Blanco-Cuaresma 2019, Kulenthirarajah vd. 2019). Bu iki

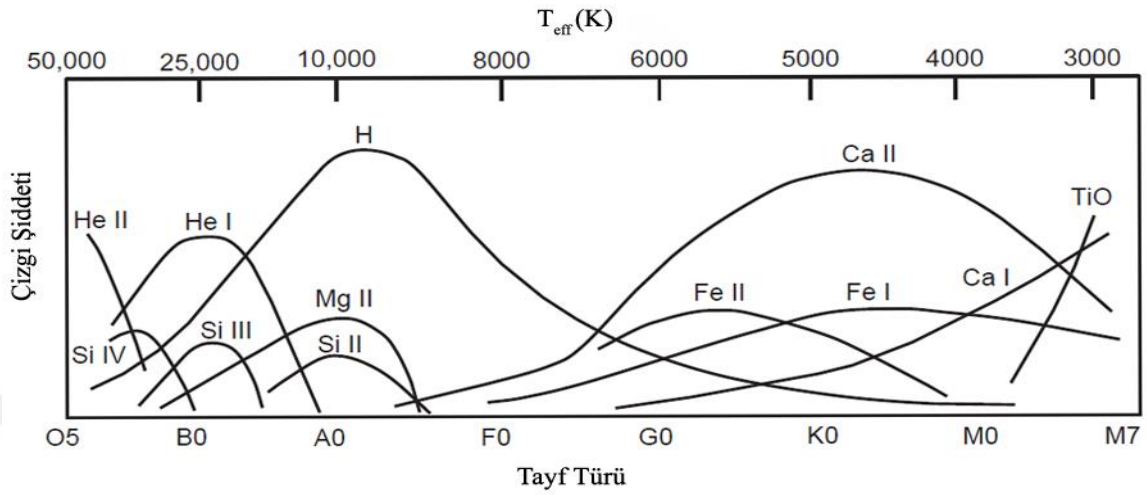
yöntem de oldukça kullanışlı olmasına rağmen hangisinin iyi veya daha faydalı olduğu astronomide tartışmalı bir konudur. Eşdeğer genişlik yöntemi, tayf çizgilerinin şiddetini ölçmenin basit ve doğrudan bir yolu olduğu için oldukça önemli bir araç olarak kabul edilmektedir (Alves vd. 2015, Jofre vd. 2015). Yöntem kabaca çizgi profillerinin belirlenen eşdeğer genişlik ölçümleriyle elde edilen kimyasal bolluklar ve bunların üzerinden parametre belirlenmesine dayanmaktadır. Sentetik tayf fiti yöntemin de ise temel fikir oldukça basittir. Geniş atmosfer parametre aralığında oluşturulan yıldız modelleri ile gözlemsel tayfın ya tamamının ya da belirli çizgilerin (atmosferik yıldız parametrelerine duyarlı olanların) karşılaştırılmasına dayanır (Jofre vd. 2019, Blanco-Cuaresma 2019).

Yıldız parametrelerinin hesaplanması için kullanılan yöntemlerin hepsi seçilen yıldız türüne veya özelliklerine göre kullanışlı olabilmektedir. Ancak, biliyoruz ki tekil ve geç tayf türünden (G, K ve M) yıldızlar için durum farklıdır. Bu tür yıldızlarda temel parametrelerin belirlenmesi daha zordur ve bu nedenle yıldızların içyapı ve kimyasal modellerine daha fazla bağımlı hesaplamalar içerir.

Daha erken tayf türünden yıldızlarla kıyaslandığında bu yıldızlar kendilerine has birçok tayfsal özellik gösterir. G ve K tayf türünden yıldızlarının atmosferleri, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterirken, moleküler yapılar da tayfsal özelliklerini etkiler. Tayfsal sınıflamada en önemli özellik sıcaklıktır ve buna bağlı bazı tipik soğurma çizgi değişimi Şekil 1.1'de gösterilmektedir. G ve K tayf türünden yıldızlarda, K'ya doğru Hidrojen çizgileri giderek zayıflarken genel metal çizgilerin şiddetlerinde artış görülür. K5 ve sonrası tayf türlerinde ise MgH ve TiO gibi moleküler yapılar görülmeye başlar.

Geç tayf türünden yıldızlar (G, K ve M) etraflarında gezegen barındırmaları ve yaşanabilir gezegenlere sahip olma olasılığının oldukça yüksek olması nedeniyle, günümüz ötegezegen çalışmaları için oldukça önemli bir gruptur (Gillon vd. 2017). Yıldız tayf türü ve özelliklerinin gezegende yaşam varlığını doğrudan etkileyebileceği düşünüldüğünde, yıldız özelliklerinin iyi anlaşılmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Yıldızların detaylı çalışılması ve etrafındaki yaşanabilir bölge hesaplamaları, yaşanabilir gezegen

arayışımızda ilk değerlendirme olarak oldukça kritiktir (Des Marais vd. 2008, Cockell vd. 2016).



Şekil 1.1 Farklı tayf türüne dolayısıyla sıcaklığa sahip yıldızların tayflarındaki karakteristik elementlerin göreceli çizgi şiddetleri (Trypsteen ve Walker 2017)

Bununla birlikte bu yıldızlar, yıldız türleri ve etrafındaki yaşanabilir bölge değişimlerini görebilmemiz açısından da oldukça önemlidir. Dolayısıyla bu türden yıldızlar, evrimleşmiş yıldızların özelliklerini ve galaktik kimyasal evrimini, ötegezegenleri ve yıldız sistemlerini anlamamızda kilit rol oynayan yıldız türledir. Bu yıldızların devam eden çalışmaları, yıldızların kimyasal ve dinamik yapısı hakkındaki mevcut anlayışımızın ötesini de görebilmemizi sağlayacaktır. Dahası bu yıldızların parametrelerinin belirlenmesi; ötegezegen çalışmalarında hem gezegenlere ait yarıçap ve kütle belirlenmesinde (Mann vd. 2019, Schweitzer vd. 2019) hem de gezegen barındıran yıldızların etrafındaki yaşanabilir bölgelerinin karakterize edilmesinde oldukça önemlidir (Kasting vd. 1993, Kopparapu vd. 2013). Ayrıca, yıldız metal bolluğu ile gezegen oluşum oranları arasındaki korelasyonlar iyi bir şekilde belirlenerek gezegen oluşum mekanizmalarına da ışık tutması için kullanılabilmektedir (Adibekyan vd. 2014, Montes vd. 2018, Delgado Mena vd. 2018).

Bu doğrultuda, bu tez çalışmasında, daha önce detaylı taysal çalışmaları bulunmayan ve TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) uzay teleskobu ile fotometrik gözlemi yapılmış geç tayf türünden 15 adet yıldız seçilmiştir. Seçilen bu hedef yıldızların temel ve atmosfer parametrelerinin ilk kez ayrıntılı tayfsal çalışmalarla belirlenmesi, çalışmanın önemli hedeflerinden biridir. Bu yıldızların H-R (Hertzsprung-Russell) diyagramları üzerindeki evrimsel süreçlerini anlamada ve yıldız evrim modellerinin sınırlandırılmasında doğru ve güvenilir parametre tayini oldukça önemlidir. Bu doğrultuda hesaplanan bu parametreler ile aday yıldızların evrimsel durumları da irdelendi.

Biliyoruz ki günümüz yıldız astrofiziğinin yoğunlaştığı konulardan biri de ötegezegen araştırmalarıdır. Keşfedilen ötegezegenlerin büyük bir çoğunluğu fotometrik verilerle keşfedilmiş olmasına rağmen gezegen barındıran bu yıldızların atmosfer ve fiziksel parametreleri önemli bir yere sahiptir. Özellikle, gezegenlerin evrimini ve oluşumunu anlamak için tayfsal yöntemlerle belirlenmiş bu parametreler kilit rol oynamaktadır. Günümüz ötegezegen keşifleri ile birlikte cevabı aranan önemli sorulardan biri de bu gezegenlerin yaşanabilir bir bölge içerisinde olup olmadığıdır. Yaşanabilir bölge ile ilgili teorik çalışmalar henüz başlangıç aşamasındadır (Windsor vd. 2024). Bu doğrultuda geç tayf türünden potansiyel hedef yıldızların etrafında bu bölgelerin hesaplanması ve gelecek çalışmalar için bir aday havuzu oluşturabileceğinden dolayı önemlidir. Bu nedenle, mevcut tez çalışmasında elde edilen yıldız parametreleri yardımıyla hedef yıldızlar için yaşanabilirlik sınırları da belirlendi.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Yıldız Parametreleri

Gökyüzünde muazzam sayıda bulunan yıldızlar birçok açıdan birbirlerinden farklıdırlar. Bu farklılıklar, yıldızların sahip olduğu temel fiziksel ve kimyasal parametrelerden kaynaklanır. Yıldızları birbirinden ayırmamızı sağlayan bu kendilerine has yıldız parametreleridir. Bu parametreler astrofizik açısından büyük bir öneme sahiptir ve adeta yıldızın kimliğini oluşturur. Bu parametreler sayesinde onların kimyasal yapısını, atmosferlerini, varsa gezegen ve/veya içinde bulundukları oymakları, galaksideki dağılımları ve çeşitlendirilmesi gibi birçok konuyu ele almamızda gereklidir. Bu parametrelerden birkaçını açıklamak istersek:

Etkin sıcaklık (T_{eff}): Sıcaklık tanımı astronomide çeşitli şekillerde yapılır. İncelenen cismin sıcaklık değeri yapılan bu tanıma bağımlılık gösterir. Farklı sıcaklık tanımları, farklı fiziksel olayları açıklamak için kullanılır. Eğer bir yıldızın yüzey sıcaklığından bahsediliyorsa, burada bunu tanımlayan en önemli nicelik etkin sıcaklıktır (T_{eff}). Bu sıcaklık; bir yıldızın birim alan başına yaydığı toplam ışınımın aynısını üreten bir karacisimin sıcaklığı olarak tanımlanabilir. Bu durumda sıcaklık çoğu zaman, yıldız ile aynı sıcaklığa sahip bir karacisim ışıması ile karşılaştırma yoluyla belirlenmektedir. Yıldızlar gerçekten de bir karacisim gibi ışınım yapmasa bile, tayfları genellikle salma ve soğurma çizgileri kaldırıldığında bu ışınıma yakınsanabilir. Bu sıcaklık yardımıyla ve Stefan-Boltzmann yasasıyla birim alandan, birim frekans aralığında, birim zamanda ölçülen enerji hesaplanabilir. Bunun için;

$$F = \sigma T_{eff}^4 \tag{2.1}$$

ifadesi kullanılır ve burada σ Stefan-Boltzmann sabitidir.

Işınım Gücü (L): R yarıçaplı küre şeklindeki bir yıldızın birim zamanda yaydığı toplam enerji miktarıdır. Genellikle SI enerji birimi olan joule başına saniye (J s^{-1}) cinsindendir

veya erg s^{-1} olarak ifade edilir. Ancak astronomi literatüründe bir yıldızın ışınım gücü çoğunlukla Güneş'in ışınım gücü ile kıyaslanarak verilir ve $L_\odot$ birimiyle gösterilir ($L_\odot$ = 3.84×10^{33} erg/s'dir).

Yıldızın yalnızca görünür bölgedeki ışınımı değil, tüm dalgaboyundaki ışınımını dikkate alarak çalışılması oldukça önemlidir. O nedenle bir yıldızın toplam ışınımından bahsederken, yıldızların bolometrik parlaklığından da bahsedilmelidir. Bolometrik parlaklık (m_{bol}); bir yıldız için tüm dalgaboyu aralığındaki ışınımı ifade eder. Ancak bu parlaklığı elde etmek pratikte oldukça zordur. Çünkü yapılan ölçümler Dünya'nın atmosfer etkisine ve kullanılan gözlem araçlarına bağımlıdır. Bu nedenle gözlemlenen parlaklıklara (m_V) bolometrik düzetmeler (BD) uygulanarak bolometrik parlaklıklara dönüştürülür. Bolometrik düzeltme, bir yıldızın bolometrik ve görsel parlaklıkları arasındaki fark olarak tanımlanır ve;

$$m_{bol} = m_V + BD \tag{2.2}$$

eşitliği ile verilir. Bu ifadeyi mutlak bolometrik parlaklık cinsinden;

$$M_{bol} = M_V + BD \tag{2.3}$$

şeklinde ifade edilir. Bolometrik düzeltmeler ile yıldız parlaklığının standart bir değerlendirmesi elde edilir. Bu düzeltme, yıldızın tayf türüne ve yüzey sıcaklığına bağlıdır. Yıldızın gerçek toplam parlaklığını doğru bir şekilde hesaplamak ve astrofiziksel araştırmalar için oldukça önemli bir yere sahiptir.

Işınım gücünü elektromanyetik tayfın tamamında ölçemesek de, mutlak bolometrik parlaklığın bir ölçüsü olarak ifade edilebilir. Şöyle ki, Pogson ifadesine göre bunu yıldızın ve Güneş'in mutlak bolometrik parlaklıkları arasındaki fark olarak aşağıdaki denklem ile gösterebiliriz.

$$M_{bol,*} - M_{bol,\odot} = -2.5 \log \frac{F_*}{F_\odot} = -2.5 \log \frac{L_*}{L_\odot} \quad (2.4)$$

burada $F_\odot$ Güneş'in ölçülen akısını, F_* yıldızın ölçülen akısını, $L_\odot$ Güneş'in ışınım gücünü, L_* yıldızın ışınım gücünü, $M_{bol,\odot}$ ile M_{bol*} sırasıyla Güneş'in ve yıldızın mutlak bolometrik parlaklığını ifade etmektedir.

Ayrıca bir yıldızın birim yüzeyinden yayılan ışınımı onun sıcaklığı ile ilişkilidir. Bu durumda bu ilişkiyi, bir yıldızın tüm yüzeyinden yayılan toplam enerji için;

$$L = 4\pi\sigma R^2 T_{eff}^4 \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, R yıldızın yarıçapı ve T_{eff} yıldızın etkin sıcaklığıdır.

Yüzey çekim ivmesi (logg): Bir yıldız için, yüzeyinde yer çekimi tarafından uygulanan kuvvetin bir ölçüsüdür. Yıldızların kütlesi ve yarıçapının atmosferlerini nasıl etkilediğini anlamada kritik bir rol oynar. Cismin temelde küresel simetrik olması durumunda kütlesi ve yarıçapı ile bir ilişki sağlar ve bu ilişki;

$$g = G\ \frac{M}{R^2} \quad (2.6)$$

ifadesi ile verilir. Burada G, evrensel kütle çekim sabiti, söz konusu yıldız için M kütle ve R' de yarıçaptır. Yıldızlar için bu değerler büyük olduğundan logaritmik olarak ifade edilir ve bu nedenle logg ile gösterilir. Bu değer yıldız atmosferindeki basınç dağılımını belirlediğinden, yıldızın yapısal bütünlüğü hakkında bize bilgi vermenin yanı sıra iki boyutlu tayf sınıflamasının ikinci boyutu olan "Işınım Sınıfı" hakkında doğrudan bilgi edinmemizi sağlar.

Metal Bolluğu [Fe/H]: Astronomide Helyum (He) ve Hidrojen (H)'den daha ağır bütün elementler "metal" olarak değerlendirilir. Bir yıldız içinde metal bolluğu bu ağır

elementlerin H ve He'a oranını ifade eder. Yıldız astrofiziğinde metal bolluğu, çoğunlukla optik tayfta en fazla gözlemlenebilen Demir (Fe) bolluğuna dayandırılarak ölçülür ve H ile arasındaki kimyasal bolluk oranına bağlı olarak [Fe/H] şeklinde gösterilir. Bu değer sıklıkla Güneş'teki bolluk değeri ile karşılaştırmalı olarak ifade edilir ve Güneş'e göre ölçeklendirilerek aşağıdaki şekilde verilir.

$$[Fe/H] = log\left(\frac{N_{Fe}}{N_H}\right)_* - log\left(\frac{N_{Fe}}{N_H}\right)_\odot \tag{2.7}$$

Burada [Fe/H] oranı, bir yıldızın demir bolluğunun Güneş'e göre logaritmik ölçekte ne kadar fazla veya az olduğunu belirtir. Metal bolluğunu ölçmek için sıklıkla kullanılan birim "ondalıklı üssü" (ing. decimal exponent) kısaltması olan "dex"tir, Bu formülasyona göre, Güneş'ten daha yüksek metal bolluğuna sahip yıldızlar pozitif bir logaritmik değere sahipken, Güneş'ten daha düşük metal bolluğuna sahip yıldızlar negatif bir değere sahiptir. Eğer bir yıldızın [Fe/H] = 0 ise Güneş ile aynı metal bolluğuna sahiptir. [Fe/H] = +2 ise Güneş'in metal bolluğunun 100 katına sahip olduğunu, [Fe/H] = -1 Güneş'in onda birine sahip olduğunu ifade eder. Kısacası yıldızın atmosferdeki metal bolluğunun Güneş'e göre daha mı zengin yoksa daha mı fakir olduğunu anlamak ve yıldızları metal içeriğine göre sınıflandırmak için kullanılan bir ölçüttür.

Kütle (M): Astronomide oldukça önemli fiziksel parametrelerden birisi yıldız kütlesidir. Yıldızın yapısı ve evrimi için son derece önemli bir parametredir. Yıldıza dair tüm özellikleri belirlemede önemli bir rol oynar. Ancak yıldızın yarıçapı, parlaklığı ve yüzey sıcaklığı gibi parametreler kadar kolay ve doğrudan ölçülebilen bir özellik değildir. Genellikle belirlenmesi dolaylı olarak yapılır. Eğer yıldız bir ikili sistemin üyesi ise doğrudan ölçülebilen bir parametredir. Oldukça az sayıda yıldız doğrudan kütle belirlemesi yapılabilecek özelliklere sahiptir.

Yarıçap (R): Yıldızlar için yarıçap bir yıldızın büyüklüğünü ifade eder ve genellikle Güneş'in yarıçapı ($R_\odot$) ile kıyaslanarak verilir. Yıldızların parlaklıklarını ve yüzey sıcaklıklarını anlamak için kullanılan önemli bir parametredir. Aynı zamanda yıldızın

evrimsel aşaması hakkında da bize yol gösterici parametrelerden birisidir. Çok az sayıda yıldızın yarıçapı doğrudan belirlenebilir. Doğrudan hesaplama yapılabilmesi için yıldızın açısal boyutu ve uzaklığının çok iyi bilinmesi gerekir. Bununla birlikte yıldızın ışınım gücü ve sıcaklığı kullanılarak da elde edilebilir.

Dönme Hızı (vsin *i*): Dönme, yıldızlar da dâhil olmak üzere çoğu gök cisminin paylaştığı ortak bir özelliktir. Yıldızlar, moleküler bulutların çekirdeklerinde, kütleçekimi etkisiyle dönen maddenin çökmesiyle oluşur. Yıldızlarda dönme zamanla hızlanabilir veya yavaşlayabilir, ancak yıldızın ömrü boyunca devam eder ve yıldız evrimini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, büyük kütleli yıldızların ana kolda daha uzun süre kalmasına sebep olabilir. Ayrıca dönme, yıldızlarda homejen olmayan sıcaklık ve yoğunluk dağılımına da neden olabilir. Dönme ile tetiklenen bu ve bunun gibi çeşitli fenomenler, yıldızların parlaklıklarını etkileyerek daha parlak veya sönük görülmelerine sebep olabilir. Bunlar dönmenin yıldızlar üzerindeki etkilerine sadece birkaç örnek niteliğindedir.

Yıldızların dönme hızının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri de yıldızın tayf çizgilerinin profil analizleridir. Temelde tayf çizgi profillerindeki genişleme (ing. broadening) ile ölçülür. Doppler etkisi nedeniyle, yıldızın farklı bölgelerinden gelen ışık farklı hızlarla gelir ve çizgilerin genişlemesine yol açar. Bu genişleme, yıldızın dönüme hızını belirlemek için kullanılır. Ekvatoral bölgedeki hız, en büyük Doppler kaymasını yaratırken, kutuplarda bu kayma sıfır olur. Bu analizler sonucu yıldızın dönme hızının gözlemcinin bakış doğrultusundaki bileşeni yani yıldızın izdüşüm dönme hızı (vsin *i*) elde edilir. Eğer bir yıldızın dönme ekseni ile gözlemcinin bakış doğrultusu arasında bir *i* eğim açısı varsa ve yıldızın görünür dönüş hızı y ise, bu durumda $y = \text{vsin}\, i$ şeklinde ifade edeilebilir. Burada v, yıldızın ekvatoral dönme hızıdır. Genel olarak her yıldız için i değerinin elde edilmesi pek mümkün olmayabilir. Yıldızın dönme ekseni ile gözlemci arasındaki açı i ne kadar küçükse (örneğin kutuptan bakıldığında), görünen dönüş hızı o kadar düşük olur. Yıldızın dönme hızı, gözlemcinin bakış doğrultusuna bağlı olarak değişir, bu yüzden vsin *i* değeri genellikle istatistiksel olarak kullanılmaktadır. Yıldızın vsin i değeri yıldızın açısal momentum evrimi hakkında bilgi sağlayan önemli bir gözlemsel parametredir.

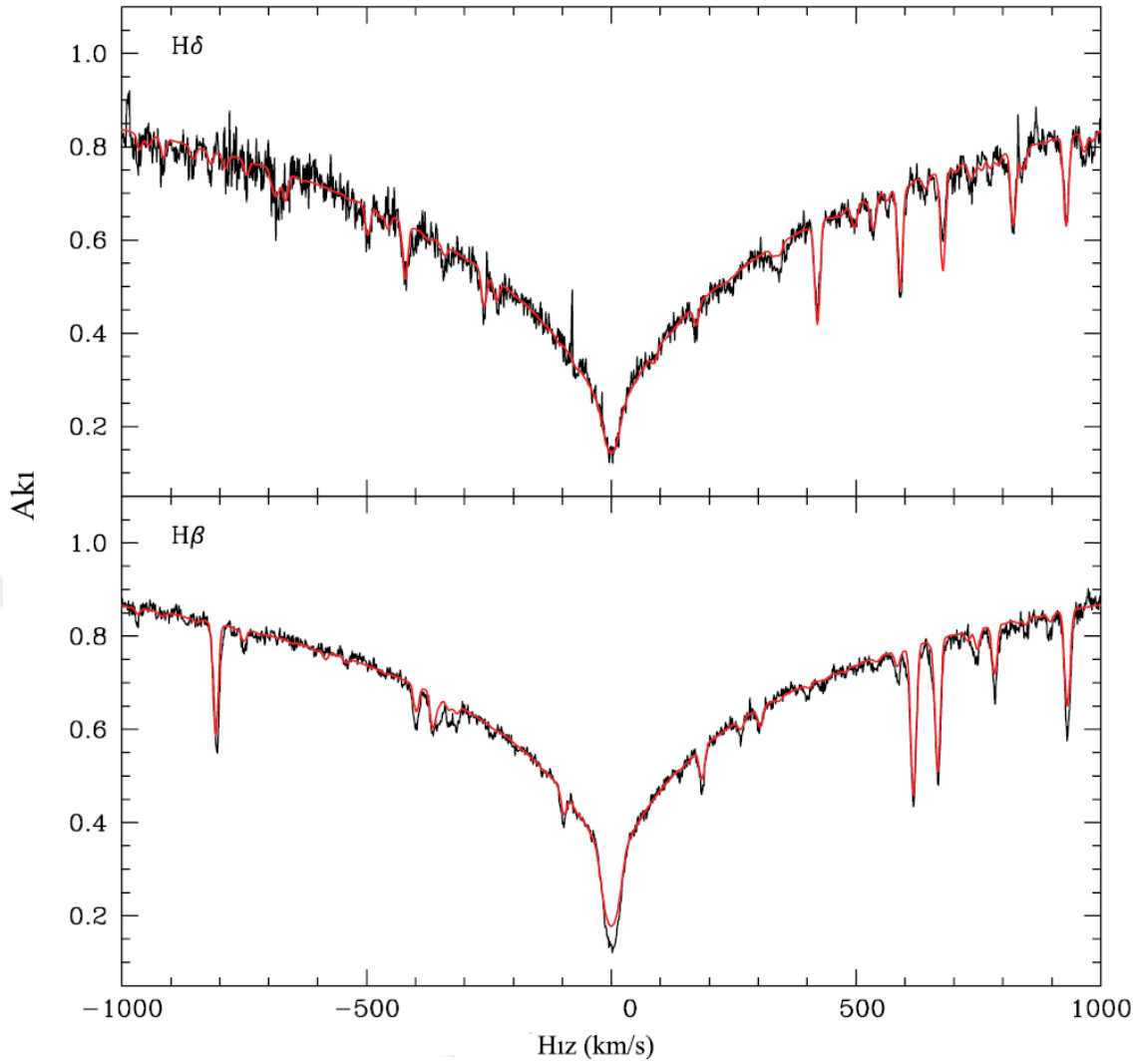
2.2 Yıldız Atmosfer Parametrelerinin Tayfsal Yollarla Belirlenmesi

Yıldızları birbirinden ayıran özelliklerin anlaşılmasında önemli bir yere sahip olan yıldız parametrelerinin ölçümü, bilim insanları için her zaman oldukça zorlayıcı olmuştur. Yıldızların uzaklığını, sıcaklığını, çapını, kütlesini ve kimyasal bileşimini doğru bir şekilde ölçmek için çeşitli teknikler ya tek başına ya da bir arada kullanılmaktadır. Örneğin, uzay tabanlı gözlem yöntemleri ile belirlenen paralaks ile yıldızların uzaklıkları ölçülebilir (Soubiran vd. 2024). Yine parlak yıldızların çap ve sıcaklıkları interferometri gibi yöntemlerle elde edilen açısal çaplar yardımıyla belirlenebilir (Ligi vd. 2016, Bonnefoy vd. 2018) ve daha uzak yıldızların uzay tabanlı fotometrik verileriyle paralaks bilgileri de kullanılarak yarıçap ve kütle hesaplamaları yapılabilir (Creevey vd. 2012, Huber vd. 2012, Stokholm vd. 2019). Ayrıca, tayfsal verilerden atmosfer parametrelerinin elde edilmesi de yaygın bir yaklaşımdır (Gray 1996, Valenti ve Fischer 2005, Takeda vd. 2002, 2022, Gill vd. 2018, Tabernero vd. 2019, Li ve Ezzeddine 2023).

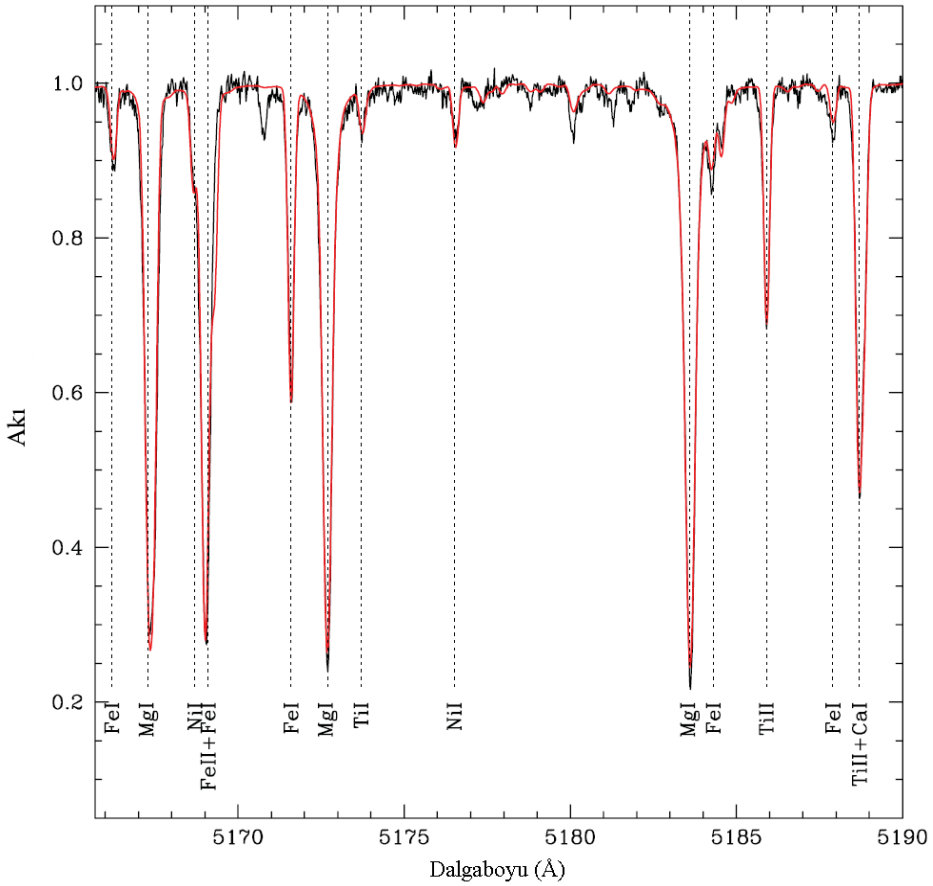
Ancak, bazı yıldızlar için parametrelerinin doğrudan belirlenmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Yıldızların M, L, R ve yaş gibi mutlak parametreleri birkaç parlak yıldız ve belirli ikili sistemler dışında doğrudan belirlenememektedir. Bu nedenle, bu parametrelerin belirlenmesinde dolaylı yöntemlere başvurulmaktadır. Bu dolaylı yöntemlerden biri, T_{eff} ve logg gibi atmosfer parametrelerinin kullanılmasıdır. Çünkü bu parametreler sadece yıldız atmosferini tanımlamakla kalmaz aynı zamanda M, L ve R gibi parametrelerle de doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla, bu atmosfer parametreleri kullanılarak dolaylı yoldan mutlak parametreler elde edilebilmektedir (Valenti ve Fischer 2005). Bu bağlamda, normalde mutlak parametrelerinin doğrudan belirlenmesi zor olan yıldızlar için, tayfsal çalışmalarla elde edilen atmosfer parametreleri oldukça önemli bir yere sahiptir. Çünkü, bu atmosfer parametrelerine farklı yöntemlerle elde edilmiş uzaklık bilgisi de eklenince mutlak parametreler nümerik olarak hesaplanabilmektedir.

Mutlak parametrelerin dolaylı olarak hesaplanmasında kritik bir rol oynayan atmosfer parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi, modern tayfsal yöntemlerle mümkün hale gelmiştir. Günümüzde tayfsal yöntemler, yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerin

sayısının artmasıyla yıldız atmosfer yapısı, kimyası ve bu bölgede etkili olan dinamiklerin çoğunu anlamada sıkça kullanılmaktadır. Yıldızların bu atmosferik dinamiklerini ve dolayısıyla parametrelerini anlayabilmek için, gözlenen tayfların çizgi profillerinin detaylı ölçümü ve modellemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Atmosfer parametrelerinin belirlenmesinde, birkaç farklı yöntem öne çıkmaktadır. Örneğin, T_{eff} için Balmer çizgilerine (Hα λ 6563Å, Hβ λ 4861Å, Hδ λ 4102Å) (Şekil 2.1) veya logg için Mg I triplet çizgilerinin (λ 5167Å, λ 5172Å ve λ 5183Å) kanatlarına yapılan profil fitleri (Şekil 2.2) örnek gösterilebilir (Catanzaro vd. 2013, Mikulášek vd. 2022). Çizgi profili fitinin yanı sıra günümüzde sıkça başvurulan iki yöntem dikkat çekmektedir. Klasik olarak kullanılan bu iki yöntemden ilki yıldız tayflarının, teorik olarak hesaplanmış sentetik tayflarla uyumlamasına dayanan sentetik tayf fiti yöntemidir (Valenti ve Fischer 2005, Kulenthirarajah vd. 2019, Blanco-Cuaresma 2019, Polinska vd. 2018, Sarmento vd. 2021). İkinci yöntem ise eşdeğer genişlik ölçüm yöntemidir. Yıldızlarda belirli çizgiler seçilerek eşdeğer genişlik ölçümleri üzerinden parametre hesaplanması yapılmaktadır (Alves vd. 2015, Jofre vd. 2015, Loaiza-Tacuri vd. 2023, Takeda ve Honda 2020, Li ve Ezzeddine 2023, Boeche ve Grebel 2016).



Şekil 2.1 Gözlenen Hβ ve Hδ çizgisi ve bu çizgilere yapılan profil fiti (Catanzaro vd. 2013)



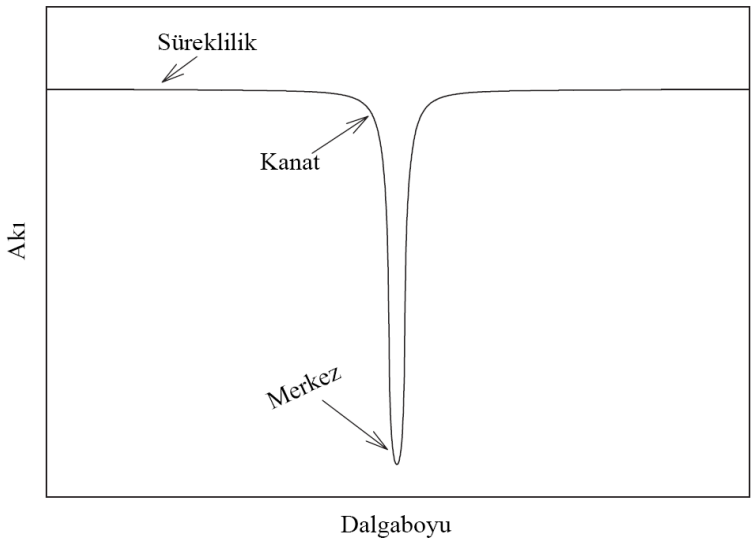
Şekil 2.2 Gözlenen Mg I triplet çizgileri ve bu çizgilere yapılan profil fiti (Catanzaro vd. 2013)

2.2.1 Eşdeğer genişlik yöntemi

Bir soğurma tayf çizgisi, temel olarak çizgi merkezi, çizgi kanatları ve çizgi sürekliliği olmak üzere üç ana bileşenle tanımlanabilir (Şekil 2.3). Bu bileşenler, yıldız fotosferinin sıcaklık gradiyenti ile doğrudan ilişkilidir. Bilindiği gibi yıldız fotosferi, sıcaklığın derin katmanlardan üst katmanlara doğru azaldığı bir yapı sergiler ve dolayısıyla çizgi oluşumunu doğrudan etkiler. Fotosferin bu yapısı, tayf çizgilerinin farklı bölgelerinin fotosferdeki farklı derinlikteki fiziksel koşullarla ilişkilendirilmesine olanak tanır. Şöyle ki, bir tayf çizgisinin merkezi, yıldız fotosferinin daha soğuk olan üst katmanlarında oluşurken, sürekliliğe yakın bölgesi daha sıcak ve derin katmanları temsil eder. Çizgi kanatları, bu iki bölge arasındaki ara katmanlarda oluşur. Bu durum, tayf çizgilerinin

yıldız fotosferindeki farklı fiziksel koşullara duyarlı olduğunu ve bu nedenle bir yıldızın atmosfer yapısı hakkında önemli bilgiler sunduğunu göstermektedir. Özellikle çizgi merkezleri ve kanatlarının ayrıntılı incelenmesi, fotosferdeki sıcaklık dağılımı, yüzey çekim ivmesi ve türbülans gibi fiziksel parametrelerin belirlenmesine olanak tanır.

Ancak, çözünürlük sınırlamaları, gürültü seviyeleri veya yüksek dönme hızı gibi faktörler nedeniyle tayf çizgilerinin ayrıntılı ve doğru bir şekilde ölçülmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu tür durumlarda, tayf çizgilerini daha genel bir şekilde incelemek için farklı ölçüm yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biri de eşdeğer genişlik ölçümüdür. Bu ölçüm, hem atmosferik parametrelerin hesaplanmasında hem de kimyasal bolluk analizinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Santos vd. 2004, Alves vd. 2015, Marfil vd. 2019, Takeda ve Honda 2020). Ancak, çizgi profilinin şekli hakkında herhangi bir bilgi içermez.



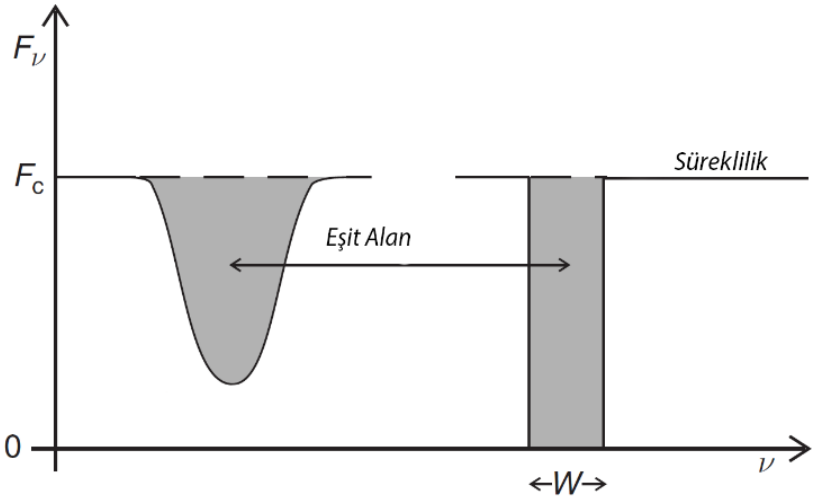
Şekil 2.3 Örnek bir tayf çizgisinin gösterimi (Gray ve Corbally 2009)

Sonlu bir genişliğe ve ölçülebilen bir profile sahip olan tayf çizgilerinin enerji miktarlarının, nicel bir ölçüsünü vermek için süreklilik altındaki çizgi profillerinin alanı kullanılmaktadır. Bu durumda eşdeğer genişliğik (EW veya $W_{\lambda/\nu}$); bir tayf çizgisinin,

soğurduğu toplam enerjiye eşit ve aynı süreklilik düzeyindeki varsayımsal ideal bir dikdörtgenin alanını ifade eder (Şekil 2.4). Çizgi profili ile süreklilik arasındaki bu alanı tanımlamak istersek:

$$W_\nu = \int \frac{F_c - F_\nu}{F_c}\, d_\nu \qquad (2.8)$$

formülünü verebiliriz. Burada F_c ve F_ν sırasıyla sürekli bölgeye ait çizgi üzerindeki akıyı ve W_ν ise eşdeğer genişliği temsil eder (Pradhan ve Nahar 2011).



Şekil 2.4 Eşdeğer genişliğin (W_ν) şematik tanımı. İçerisindeki tüm fotonları soğuran hayali dikdörtgen alan, ilişkili olduğu atomik çizgiyle aynı miktarda enerjiyi soğuracak şekilde bir genişliğe sahiptir (Pradhan ve Nahar 2011)

Dolayısıyla eşdeğer genişlik, bir tayf çizgisinin şiddetinin bir ölçüsüdür ve Angstrom (Å) birimi cinsinden ifade edilmektedir. Çok farklı profillere sahip tayf çizgileri de aynı eşdeğer genişliğe sahip olabilir. Bu durum, çizgilerin aynı miktarda enerji soğurduğunu gösterir.

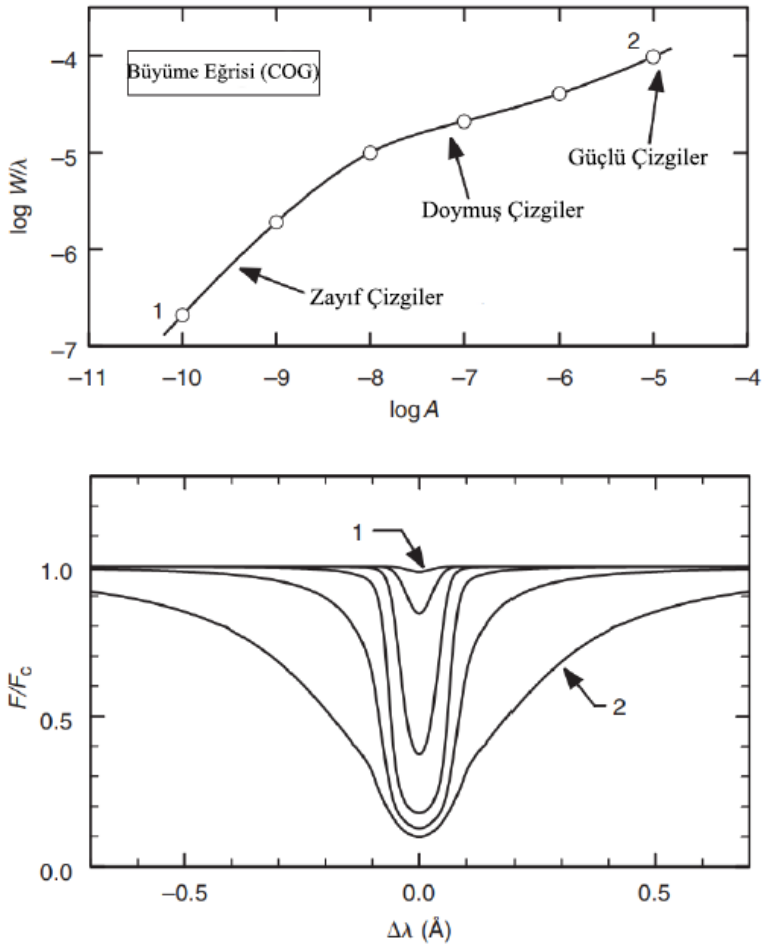
Eşdeğer genişlik yöntemiyle, bir elementin tayf çizgileri için yapılan eşdeğer genişlik ölçümü ile bolluk hesaplaması yapılır. Hesaplanan bu bolluklardan uyarılma ve iyonizasyon denge durumları kullanılarak yıldız atmosfer parametrelerine geçiş sağlanır. Bu yöntemde çoğunlukla nötr (Fe I) ve bir kez iyonlaşmış (Fe II) demir çizgileri tercih edilir. Bunun temel nedenleri, bu çizgilerin görsel dalgaboyu bölgesinde oldukça bol miktarda bulunması ve atomik verilerinin çok iyi çalışılmış olmasıdır. Bir başka nedeni de, bu çizgilerin farklı enerji durumlarında aynı anda var olmasıyla yıldız atmosferinin farklı derinliklerinin incelenmesine olanak tanımasıdır. Özellikle Fe, soğuk yıldız atmosferlerinde yüksek opaklık katkısı nedeniyle, bu tür çalışmalarda temel bir referans noktası olarak kullanılmaktadır (Lind vd. 2012).

Bolluk hesaplamalarında, homojen bir yıldız atmosferi düşünüldüğünde Fe çizgilerinin aynı bolluğa sahip olması gerektiği varsayılır. Bu nedenle Fe çizgilerinin EW ölçüm farklılıkları bir tanı olarak kullanılabilir. Yani $\log(W_\lambda/\lambda) \sim \log A$ eşitliğinden görüleceği gibi, ölçülen EW ile bu elementin bolluğu (A) arasında bir bağ kurulabilir. Öyle ki bir yıldızın tayfında, atomik çizgilerin eşdeğer genişliği ile bolluğu arasındaki kurulan bu bağa veya ilişkiye büyüme eğrisi (ing. curve of growth, COG) adı verilmektedir. Bu tanım, çizginin eşdeğer genişliğinin, çizgiyi üreten atom bolluğuna göre nasıl arttığını veya bağlılığını gösteren bir grafiği ifade etmektedir (Şekil 2.5). Bu grafik, tayf çizgi profilinin göstereceği belirgin üç aşama içermektedir (Leblanc 2010). İncelenen bu tayf çizgisinin büyüme eğrisi, bu üç aşama için farklı eğimlere sahip olacağından, çizginin hangi aşamada olduğu belirlenebilir. Şekil 2.6'da görselleştirildiği gibi, büyüme eğrisinde çizgi profiline bağlı olarak izlenen bu üç aşama:

<u>*Doğrusal kısım:*</u> Optik ince bölgelerde, belirli bir elementin atomlarının sayısı arttıkça, soğurma çizgilerinin eşdeğer genişliği elementin bolluğuyla doğrusal olarak artar ($W_\lambda \sim A$). Soğurulan enerji, çizgi oluşturan bölgede bulunan atom sayısıyla orantılıdır. Bu çizgiler, henüz doymamış (ing. unsaturated) çizgiler olarak adlandırılır.

<u>*Doymuş kısım:*</u> Artık bir noktada, çizgi merkezi optik olarak kalın hale gelir. Elementin bolluğu (soğurucu atom sayısı) artmaya devam ederse, çizginin merkezindeki akı

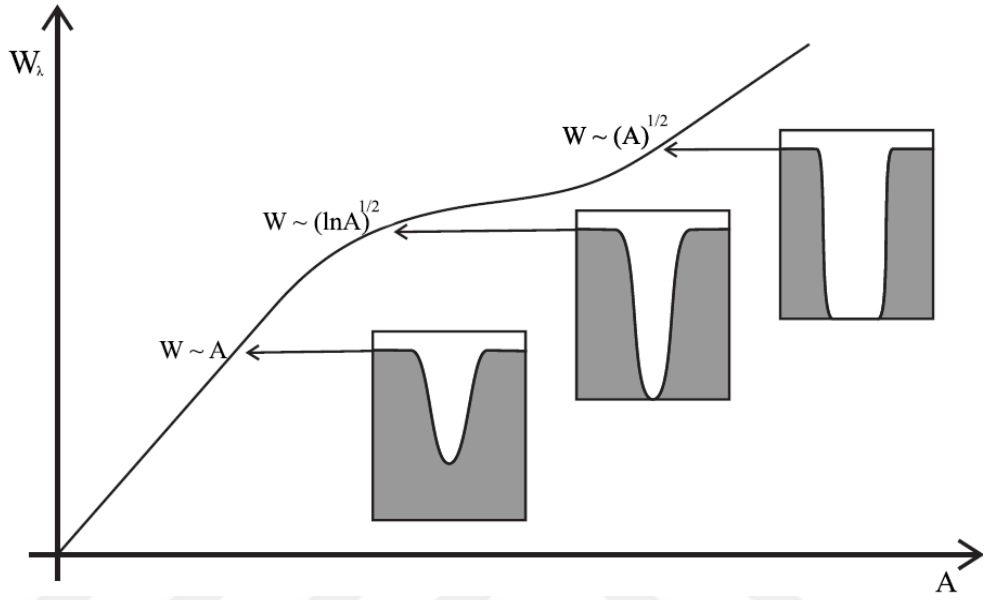
minimum bir seviyeye ulaşır ve bu noktada çizgi doymuş (ing. saturated) hale gelir. Bu aşamada element bolluğunun arttırılması artık eşdeğer genişliği değiştirmeyecek ve artış doğrusal olmayacaktır. Bu durumda, eşdeğer genişlik, elementin bolluğuyla logaritmik olarak artar ($W_\lambda \sim \sqrt{lnA}$). Esasen bu aşamada Doppler genişlemesi baskın haldedir.



Şekil 2.5 6065Å'deki FeI soğurma çizgisinin eşdeğer genişliğinin ($\log \frac{W}{\lambda}$) soğurucu atom sayısına bağlılığı ve buna bağlı olarak büyüme eğrisi. Üst paneldeki büyüme eğrisi üzerindeki her bir daire, alt paneldeki bir çizgi profiline karşılık gelmektedir (Gray 2005)

<u>*Sönümlü (damped) yüksek yoğunluklu kısım:*</u> Bu aşamada doymuş çizgiler, daha fazla bolluk artışına karşı daha az duyarlı hale gelecektir. Yani artışa rağmen merkez derinliği daha fazla artmayacaktır. Elementin bolluğu çok daha yüksek seviyelere ulaştığında,

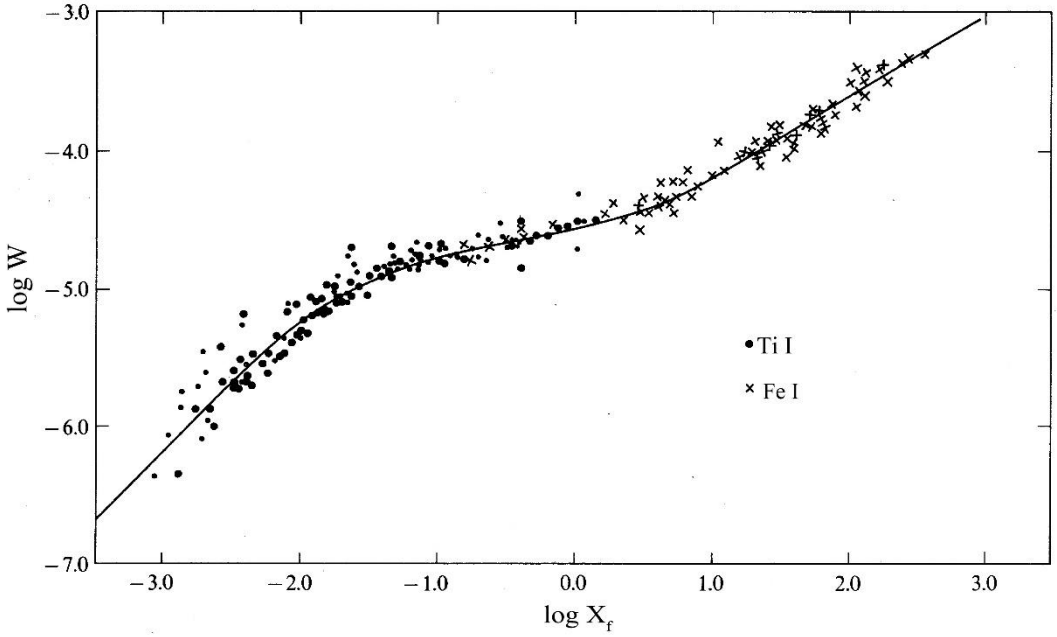
çizgilerin kanatlarındaki soğurma artacaktır. Dolayısıyla çizgi kuvvetindeki artışın çoğu çizginin kanatlarından sağlanır ve bu aşamada EW yaklaşık olarak bolluğun kareköküyle değişir ($W_\lambda \sim \sqrt{A}$). Bu aşamada genişleme basınç genişlemesi nedeniyle olacaktır ve baskın hale gelecektir.



Şekil 2.6 Belirli bir atomik çizgi için bolluğun (A) eşdeğer genişlik (W_λ) üzerindeki etkisini gösteren büyüme eğrisi (COG). Şekilde, eğrinin çeşitli kısımlarında eşdeğer genişliğin bolluğa bağlılığı gösterilmektedir (Pradhan ve Nahar 2011)

Sonuç olarak eşdeğer genişlik bir soğurma çizgisinin şiddetini ölçer ve bu soğurma çizgisine neden olan soğurucu atom sayısının doğrudan bir ölçüsü olarak kabul edilebilir. Ancak bu çizgi oluşumunun optik olarak ince bir ortamda gerçekleştiği varsayılır. Büyüme eğrisi ise bu optik kalınlığı düzeltmek için kullanılmaktadır. Böylece aynı başlangıç durumunda olan (ve dolayısıyla yıldız atmosferinde aynı element bolluğuna sahip olan) atomlar veya iyonlar tarafından üretilen farklı soğurma çizgileri için ölçülen eşdeğer genişlikleri, teorik bir büyüme eğrisiyle karşılaştırarak soğurucu atom sayısı belirlenir. Ayrıca bir büyüme eğrisi analizi, farklı başlangıç durumlarında olan atomlar veya iyonlardan kaynaklanan çizgilere de uygulanmaktadır. Böylece eşdeğer genişlik ölçüm yönteminde, farklı uyartılma ve iyonlaşma durumlarındaki atom ve iyonların

göreli sayıları kullanılarak yıldız için bazı parametrelerin hesaplanması amacıyla büyüme eğrisi kullanılabilir.



Şekil 2.7 Güneş'teki Fe I ve Ti I çizgileri için oluşturulmuş gözlemsel büyüme eğrisi. Eşdeğer genişliğe karşı geçişlerinin osilatör şiddetine dayalı bollukları (Rutten 2003)

Gray'in (2005) basit bir biçimde türettiği denklem bunun nasıl çalıştığını göstermektedir.

$$log\frac{W}{\lambda} = log\, C + Log\, A + log\, g_n f\lambda - \theta_e\chi - log k_\upsilon \qquad (2.9)$$

Burada W eşdeğer genişlik, λ ilgili dalgaboyu, A verilen elementin bolluğunu, $g_nf = gf$ istatiksel ağırlık ve osilatör şiddeti, k_υ soğurma katsayısı, θ_e uyartılma denkleminden elde edilen sıcaklığı, χ uyarılma potansiyel enerjiyi, C belirli bir yıldızdaki belirli bir iyon için kullanılan sabiti ifade eder. Burada önemli olan, logA üzerinde olan değişimlerin $loggf\lambda$ ve $\theta_e\chi$ üzerinde olan değişimler ile eşdeğer olduğudur. Yani seçilen karakteristik bir soğurma çizgisi listesi için büyüme eğrisi; $g_nf\lambda$ ile χ sabit olduğu varsayımı altında ve modelin θ_e ile k_υ değerlerini sabitlediği varsayımıyla A için farklı değerlerin hesaplanmasına dayanır. Bu farklı değerlerin her biri bir büyüme eğrisine karşılık

gelmektedir. Yıldızın atmosfer parametreleri (sıcaklık, yüzey çekim ivmesi gibi) bolluk ve çizgi şiddeti ile olan bağımlılığı kullanılarak belirlenen COG'lar üzerinden hesaplanmaktadır (Li ve Ezzeddine 2023, Boeche ve Grebel 2016).

Bu yöntemde genel olarak etkin sıcaklık T_{eff}, Fe I çizgilerinin bolluğu ile χ arasında bir korelasyon olmadığı varsayımı ile uyartılma dengesi kullanılarak elde edilir. Yüzey çekim ivmesi logg ise, Fe I ve Fe II çizgilerinden elde edilen bolluklar üzerinden iyonizasyon dengesi yaklaşımı ile hesaplanır. Mikrotürbülans hızı (υ_{mic}), Fe bolluğu ile EW arasında bir korelasyon bulunmaması durumuna bağlı olarak hesaplanır. Esas olarak bu parametre büyüme eğrisinin düz bölgesinde bulunan orta veya şiddetli çizgileri etkiler. Yani büyüme eğrisinin doğrusal kısmındaki çizgiler genellikle bolluk yerine hız alanlarına daha çok duyarlıdır. Metal bolluğu ([Fe/H]) ise yıldızın ortalama Fe içeriğine göre hesaplanır.

Eşdeğer genişlik yönteminin kullanımı yakın zamanda geliştirilen yazılım paketleri ile daha kolay uygulanabilir olmuştur. Bu yazılım paketlerine, FAMA (Magrini vd.2013), GALA (Mucciarelli vd. 2013), ARES (Sousa vd. 2007) gibi örnekler gösterilebilir. Ayrıca bunlara benzer bir yazılım kodunu (SP_Ace) geliştiren Boeche ve Grebel (2016) yapmış olduğu çalışmada, eşdeğer genişlik yönteminde büyüme eğrisinin geniş parametre uzayı oluşturmak için nasıl kullanıldığını özetlemişlerdir.

Gelişmekte olan eşdeğer genişlik yönteminin sınırlayıcı bazı noktaları da vardır. Bunların en başında temelde tayf çizgilerinin seçimi gelmektedir. Ölçüm için seçilen tayf çizgilerinin hem doğru bir şekilde çizgi tanısının yapılması hem de örtüşmemiş (ing. blend) tekil çizgilerin belirlenmesi hayati önem taşır. Özellikle geç tayf türü yıldızlarda iç içe girmiş tayf çizgileri veya moleküler çizgilerin olduğu bölgelere ve de tayf normalizasyonunda süreklilik belirleme adımına çok dikkat edilmelidir. Öyle ki buna en iyi örnek, Takeda ve Honda'nın (2020)'de yaptığı çalışma verilebilir. Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalarda özellikle K cüce yıldızları için Fe bolluklarının Fe I ve Fe II çizgilerinden atmosfer parametrelerinin türetilmesinde tutarsızlık olup olmadığı sorusuna yanıt aramışlardır. Görünen o ki yapılan çalışmada seçilen G ve K tayf türü

yıldızlarının atmosfer parametreleri klasik eşdeğer genişlik yöntemine dayalı olarak türetilmiş ve bir tutarsızlık belirlenmemiştir. Öyle ki Aleo vd. (2017) ve Tsantaki vd. (2019) tarafından yapılan araştırmalara göre, K cücelerindeki iddia edilen Fe I ve Fe II çizgilerine dair tutarsızlık, çizgilerin (özelliklede Fe II) çizgi tanısının iyi yapılmamasından etkilenmesi sonucu yanlış kullanıldığı yönündedir. Bu yanlış belirlenen çizgilerin dâhil edilmediği hesaplamada, tutarsızlık oldukça önemsiz bir seviyeye indirgenmiştir.

Eşdeğer genişlik yöntemi, özellikle orta ve yüksek çözünürlüklü tayflar için oldukça kullanışlıdır. Bu yönteminin daha az karmaşık olması, tayfsal analizde hızlı ve etkili bir çözüm sunar. Galaktik yıldız popülasyonlarının özelliklerinin belirlenmesinden (Adibekyan vd. 2012), gezegen barındıran yıldızların tanımlanması (Santos vd. 2013, Gill vd. 2018) gibi birçok alanda başarıya ulaşan bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem tayfsal çizgilerin temel doğasını anlamada ve analiz etmede kritik bir rol oynamaya devam edecektir.

2.2.2 Sentetik tayf fiti yöntemi

Sentetik tayf yönteminde, gözlenen tayf için belirlenen bir başlangıç parametre seti üzerinden modellerle oluşturulmuş sentetik tayflar ile en iyi uyumu sağlayana kadar T_{eff}, logg, [Fe/H] gibi parametre setlerinin değiştirilmesine dayanır (Blanco-Cuaresma 2019). Bunun yanı sıra farklı yıldız parametre setleri için önceden hesaplanmış sentetik tayflar da kullanılabilir (García Pérez vd. 2016).

Bu yöntemde gözlemlenen tayfın tamamı veya bir kısmının kullanımı amaca ve tercihe bağlıdır. Analizde yıldız türüne göre seçilen model atmosferlerden üretilen en iyi uyumlu sentetik tayflar kullanılır. Yöntemde başlangıç parametre seti olarak belirlenmiş atmosfer parametrelerinin en düşük $\chi 2$ değerine sahip parametre seti için doğru kombinasyonun bulunması temel alınır. Bunun için iki ana yöntem izlenir. Birincisi giriş parametrelerini başlangıç değeri olarak alarak en uygun çözümü bulmak için $\chi 2$ minimizasyon

algoritması kullanmak (Kulenthirarajah vd. 2019, García Pérez vd. 2016), ikinci ise birden fazla başlangıç parametre seti oluşturarak, hesaplanmış sentetik tayflar ile oluşturulmuş geniş ve çok boyutlu bir grid veri yığınından en uygun çözümü bulmaktır (Valenti ve Fischer 2005, Blanco-Cuaresma 2019).

Bu yöntemde en kritik unsur, doğru yıldız modelleri kullanarak sentetik tayfların üretilmesidir. Eşdeğer genişlik ölçümü yönteminden farklı olarak örtüşmüş çizgilere karşı daha az hassastır. Ayrıca çok fazla yıldız adayı için uygulama süresi uzamaktadır. Bu yöntemin de otomatikleştirilmesi yönünde yazılmış bir takım kodlar mevcuttur ve tıpkı eşdeğer genişlik yöntemi kadar sık tercih edilen bir yoldur.

2.2.3 Model atmosfer için LTE ve NLTE etkileri

Günümüzde yıldız atmosferlerini anlamak ve özelliklerini belirlemek için astrofiziksel teoriler ile geliştirilen yıldız atmosfer modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerin amacı, yıldızların dış bölgelerinin fiziksel yapısını olabildiğince doğru bir şekilde hesaplamaktır. Yıldız evrimi ve yıldız atmosferleri hakkında oluşturulan bu modeller, seçilen optik derinliğin bir fonksiyonu olarak yıldızın fiziksel ve atmosferik parametrelerini (sıcaklık, yoğunluk ve yarıçap gibi) temel alır. Ancak, bu parametrelerin hesaplanması oldukça karmaşıktır. Bu sorunun çözümünde, elektromanyetik ışınımın yıldız maddesiyle girdiği etkileşimi açıklamak gerekir ve bunun için ışınım transfer teorisinden faydalanılır. Bu teoriyle, ışınımın yıldız maddesi içinden geçerken nasıl yayıldığı, etkileşime giren maddenin atomik bileşim ile ilişkisi, bu ortamın sıcaklığının ve yoğunluğunun nasıl değiştiği gibi sorulara cevap aranmaktadır. Öyle ki fotonların yıldız fotosferinden çıkıp Dünya'ya ulaşırken nasıl davrandığını anlamamızı sağlayan ışınım transfer denklemilerini içeren bu teori, cismin gözlenen tayflarının, yıldızın fiziksel ve kimyasal koşullarıyla nasıl ilişkilendirilebileceğinin temelini oluşturur. Dolayısıyla ışınım transfer denklemi, bir ışık demetinin belirli bir frekansdaki (ν) şiddetinin ($I\nu$), madde içerisindeki bir yoldan (ds) geçerken nasıl değiştiğini açıklamak için kullanılır. Bu değişim şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{dI_\nu}{ds} = j_\nu - \kappa_\nu I_\nu \quad (2.10)$$

Burada κ_ν ortamın soğurma katsayısı, j_ν salma katsayısıdır (Catanzaro 2014). Bu iki katsayı dalgaboyuna ve söz konusu maddenin kimyasal değişimine bağlıdır.

Kullanılan bu yıldız atmosfer modellerinin hesaplanmasında iki temel termodinamik yaklaşım yapılır: *Yerel Termodinamik Denge (ing. local thermodynamic equilibrium, LTE)* ve *Yerel Olmayan Termodinamik Denge (ing. Non-local thermodynamical equilibrium, non-LTE veya NLTE).* Yıldızın içinden dışına doğru olan enerji akışı ve dolayısıyla sıcaklıkları, yıldız atmosferinde derinliğe göre farklılık gösterecektir. Yıldız atmosferindeki parçacıklar, bulundukları yere daha sıcak veya daha soğuk başka bölgelerden gelmiş olabilirler. Bu nedenle parçacıkların hızları ve enerji dağılımları farklı sıcaklıkların bir yansımasıdır. Bu yüzden hesaplamalarda daha kullanışlı olan idealize edilmiş tek bir sıcaklık durumu kullanılır. Yani parçacıkların enerji düzeyleri arasındaki geçişlerin sıcaklık ve parçacık yoğunluğu gibi termodinamik parametrelerle tamamen tanımlanabileceği anlamına gelir. Bu duruma "*yerel termodinamik denge (LTE)*" denir. Bu, bir fotonun bir atomla etkileşime girdiği mesafenin, sıcaklığın önemli ölçüde değiştiği mesafeden daha kısa olduğu durumlarda geçerlidir. Daha spesifik olarak, LTE yerel kimyasal, termal, radyatif ve mekanik denge olarak tanımlanır. LTE'de madde ve enerjinin yerel olarak eşit sıcaklıklarda olduğu varsayımının bir sonucu olarak, yıldızın iç kısmındaki ışınımın karacisim (ing. blackbody) ışınımına, yani Planck fonksiyonuna eşit olduğu kabul edilir. Aslında bunun daha detaylı olarak tanımı birkaç farklı koşullarda yapılmaktadır (Leblanc F. 2010) :

- İlk ve en zayıf koşulu, atomik enerji seviyelerinin ve iyon popülasyonlarının yalnızca yıldız maddesindeki çarpışmalarla belirlendiği varsayımıdır. Böylece ortamdaki yerel sıcaklık doğrudan yıldız maddesinin termodinamik özellikleri ile ilişkilendirilebilir. Bu yerel sıcaklık değeri, parçacıkların hız dağılımının Maxwell dağılımı yoluyla elde etmek için kullanılabilir. Daha sonra LTE koşullarını

kullanarak parçacıkların atom-enerji seviyeleri ve iyon popülasyonları Boltzmann ve Saha denklemleri ile elde edilebilir.

- İkinci ve daha katı bir tanımı; maddenin salma ve soğurma katsayısına oranı ($S_\nu = j_\nu/\kappa_\nu$) olan kaynak fonksiyonun (S_ν), Planck fonksiyonuna (B_ν) eşit olacak şekilde ışınım yaydığı varsayımıdır ($S_\nu = B_\nu$). Buna göre yıldız maddesi içindeki saçılma süreçleri ihmal edilir.

- Üçüncü tanımı ise, spesifik yoğunluğun Planck dağılımına eşit olduğunu varsayımıdır ($I_\nu = B_\nu$). Burada Planck fonksiyonu yerel sıcaklık kullanılarak belirlenir. Aslında bu yaklaşım bizi $S_\nu = B_\nu$ eşitliğine tekrar götürür.

Burada ikinci ve üçüncü yaklaşım, ilk yaklaşımıda yapılan varsayımı kapsamaktadır. Yıldız maddesindeki değişimlerin ve özelliklerin açıklanması için LTE'nin var olduğunu kabul eden modeller için hesaplamayı oldukça basitleştirir. Bu durumda parçacık hızlarının Maxwell dağılımının ve ortamın uyarılma ve iyonlaşma durumu için Saha-Boltzmann dağılımının geçerli olması, hesaplamaları oldukça basitleştirilir. Artık LTE'de, maddenin enerji seviyelerinin çarpışmalarla belirlendiği, ancak atmosferdeki güçlü ışınım alanın bu dengeyi bozmadığı varsayılır. LTE varsayımı yıldız atmosferlerinin modellemesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem olmaktadır (Santos vd. 2004, Loaiza -Tacuri vd. 2023).

Eğer parçacıkların popülasyon dağılımı ışımasal süreçler (fotonların soğurulması ve saçılması) tarafından belirleniyorsa, yani sadece çarpışmalarla değil radyasyon ile belirleniyorsa genellikle bu durum "*yerel olmayan termodinamik denge (NLTE)*" olarak kabul edilir. Başka bir değişle NLTE durumunda molekül ve iyonların enerji seviyelerinin doluluk oranı yerel sıcaklık ve çarpışmalarla belirlenen klasik denge değerine tam olarak uymayabilir, yani LTE'den sapmış bir durumu ifade etmektedir. Bu enerji seviyelerin popülasyonları artık yerel Saha-Boltzmann denge durumundan sapmaya izin verir. Işınım transferinin yerel olmayan doğası, özellikle yüksek atmosferlerde, popülasyonları etkileyebilir ve bu da enerji seviyelerinin doluluğunun yerel dengeye göre değişmesine

neden olabilir (Leblanc F. 2010). Atmosferde, basınç ve dolayısıyla çarpışma sıklığı yükseklikle azalır. Bu yüzden, belirli bir durumun üst atmosferde LTE dışı olma olasılığı daha yüksektir. Bu yaklaşımda Saha-Bolztmann denklemleri yerine hız denklemleri veya bunların zamandan bağımsız karşılıkları olan istatiksel denge veya kinetik denge denklemleri kullanılır (Bergemann ve Nordlander 2014). NLTE durumu aslında bir denge dışı durum olarak düşünülsede burada parçacık hızları hala dengededir. Burada genel olarak çarpışma süreçleri dengeyi kurma eğilimindeyken, radyasyon alanı yıldız atmosferlerinde dengeyi bozma eğilimdedir.

LTE ile NLTE arasındaki temel fark, hesaplanan atomik seviye popülasyonlarının sergilediği davranışıdır. LTE'de bu seviyelerin çok basit ve hızlı bir şekilde Saha-Boltzmann dağılımı kullanılarak hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Ama NLTE'de radyasyon etkisi dikkate alınır ve bu seviye popülasyonları kinetik denge denklemleri ile belirlenir. NLTE yaklaşımlar LTE'den daha genel bir yaklaşımdır ve oldukça karmaşık olmaktadır. LTE model atmosferlerin kullanımıyla tayfın belirli bir kısmını uyumlu hale getirsek bile, bu modelin atmosferi iyi bir şekilde tanımladığına dair bir kanıt olmaz. LTE modellerin temel avantajı, hesaplanma süresinin NLTE'ye göre daha kısa olmasıdır. NLTE atmosfer model hesaplamaları daha doğru seviye popülasyonları, iyonizasyon dengesi, opasite, radyasyon alanları, sıcaklık ve yoğunluk sağlar. LTE varsayımından NLTE varsayımına geçiş, daha iyi modellere ulaşmak için kullanışlıdır.

F, G ve K tipi yıldızlar için, ışınım transfer modelleri genellikle yerel termodinamik denge (LTE) varsayımı kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak, bu varsayımın geçerliliği sıklıkla sorgulanmakta ve detaylı çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir. Soğuk yıldız atmosferlerinde NLTE etkilerini Asplund'un (2005) çalışmasında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmasında F, G ve K yıldızlarının NLTE model atmosferler ışığında irdelenmesi gerektiğine özellikle değinilmiştir. Geç tayf türü yıldızlarda Fe II için LTE'den sapmalara karşı duyarsız olmadığını, tam tersine Fe I için aşırı iyonlaşmaya neden olan mekanizmanın Fe II UV rezonans çizgilerinde foton pompalamaya neden olduğuna değinilmiştir. Bu şu açıdan önemlidir; Fe çizgisinin oluşumunun henüz yeterince anlaşılmadığını ve daha fazla çalışma gerektiğini göstermektedir.

Bu yaklaşımla Lind vd.'nin (2012) çalışmasında, LTE dışı durumların Fe I ve Fe II çizgilerini ve bunların atmosferik parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma dev ve cüce yıldızları kapsamaktadır. Çalışmanın önemli sonuçlarından birisi, geç tayf türünden yıldızların parametre hesaplamalarını etkileyen en önemli etkinin Fe I ve Fe II çizgilerindeki bozulmuş iyonizasyon dengesi olarak ifade edilmektedir. Nötr ve bir kez iyonize çizgilerin iyonizasyon dengesiyle hesaplanan logg değerinin, NLTE hesaplamalarına göre daha fazla etkilendiği ve bu etkinin, cüce yıldızlarda dev yıldızlara kıyasla daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca uyarım dengesine dayanarak üretilen sıcaklık için NLTE etkilerinin genellikle 50 K civarında sapmalar gösterdiğini ve Fe I çizgilerinden elde edilen mikrotürbülans değerlerinin de bu yıldızlar için NLTE'den çok az etkilendiği sonucu çıkarılmıştır.

Bu yöntem, özellikle düşük yoğunluklu atmosferlerde, örneğin yıldızların dış atmosfer katmanlarında, saçılmanın ve NLTE etkilerini daha doğru bir şekilde hesaba katmak için kritik öneme sahiptir (Asplund 2005). Oluşturulan yıldız modellerinde NLTE hesaplamaları, yıldız atmosferlerinin spektrumlarının daha güvenilir bir şekilde sentezlenmesine ve kimyasal kompozisyonlarının daha kesin bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur (Gerber vd. 2023). Özellikle F, G, K ve M tipi yıldızların atmosferlerinde, güçlü ve yerel olmayan ışınım alanları ile parçacıkların karmaşık etkileşimleri LTE'den sapmalar gösterebilir. Bu nedenle NLTE varsayımı altında yapılan hesaplamalar, bu tür yıldızların karmaşık atmosfer koşullarını tam olarak yansıtmayan LTE varsayımını içeren yaklaşımlara nazaran daha doğru hesaplamalara olanak sağlar. Günümüzde yıldız atmosferinde çizgi oluşum süreçlerinde önemli bir rolü olan NLTE etkileri modellenebilmektedir (Asplund 2005, Mashonkina vd. 2007, Lind vd. 2012, Bergemann ve Nordlander 2014, Amarsi vd. 2016, 2022) ve geç tayf türü yıldızlarda da yıldız parametrelerinin daha doğru hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak; yıldız tayfındaki çizgilerin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için hem LTE hem de NLTE koşullarını dikkate alan ışınım transfer modellerine ihtiyaç vardır. Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalarda, NLTE etkilerinin göz ardı edilmesi, kimyasal bollukların ve yıldızın fiziksel parametrelerinin hatalı belirlenmesine yol

açabilir. Bu yüzden, yıldızların tayf analizlerinde NLTE modellerin geliştirilmesi ve uygulanması, modern astrofizikte büyük bir önem taşımaktadır.

2.3 Yıldız Parametrelerinin Tayfsal Enerji Dağılımı Yoluyla Belirlenmesi

Yıldız parametrelerini belirlemek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri de tayfsal enerji dağılımı (SED; ing Spectral Energy Distribution) yöntemidir. (Morrell ve Naylor 2019, Vines ve Jenkins 2022). Yıldızların gözlemlenen SED'leri yıldız özellikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bir yıldızın yaydığı toplam enerji, yıldızın çeşitli karmaşık fiziksel süreçlerine bağlılık gösterir ve bu süreçleri anlamak için yıldızın SED'ini oluşturan bileşenlerin anlaşılması şarttır.

Elektromanyetik ışınımın bir fonksiyonu olan tayfsal enerji dağılımı bir kaynak için ölçülen parlaklık veya akının, farklı dalgaboyu veya frekansa karşı dağılımını ifade eder. Yıldızın tayfsal enerji dağılımları, akının belirli bir dalgaboyu aralığında ölçülen geniş bant fotometrisi kullanılarak incelenmektedir. Farklı bantlardaki akı değeri, her bant için belirli bir aralıkta yalnızca belirli bir dalgaboyundaki ışığın geçmesine izin verecek şekilde ölçülür. Bu akı kısaca I_v parlaklığındaki herhangi bir kaynaktan birim frekans başına birim alandan yayılan tayfsal akı yoğunluğu;

$$f_v = \pi I_v \tag{2.11}$$

olarak ifade edilmektedir. Tayfsal enerji dağılımı, yıldızın fotosfer sıcaklığına büyük ölçüde bağlıdır. Bu bağımlılığı göstermek için akı yoğunluğu T_{eff} sıcaklığında bir karacisim için yazılabilir.

$$f_v(T) = \pi B_v(T) \tag{2.12}$$

Tüm frekanslara indirgenen toplam akı ise;

$$f(T) = \pi B(T) = \sigma T^4 \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Akı yoğunluğu, ölçüldüğü dalgaboyu ile çarpılarak akıya dönüştürülebilir.

Yıldızların temel parametrelerini belirlemek için kullanılan SED analizi, gözlemlenen akı değerlerine karşılık yıldız için sentetik tayfsal enerji dağılım fiti oluşturulmasıyla yapılır. Söz konusu sentetik tayflar aynı fiziksel parametrelere sahip yıldızların enerji dağılımlarına uyumlanarak elde edilir. Bu sentetik tayflar için günümüzde birçok model atmosfer kütüphaneleri (PHOENIX v2 (Husser vd. 2013), BT-Settl (Allard vd. 2012), Castelli & Kurucz (Castelli ve Kurucz 2003)) mevcuttur. Bu model atmosferlerle oluşturulan sentetik tayflar, aynı fiziksel parametrelere sahip gerçek yıldızların enerji dağılımlarıyla oldukça iyi bir uyum göstermektedir.

Günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan SED analizleri yıldız parametrelerini elde etmek için oldukça hızlı ve kullanışlı bir yöntemdir. Bunun yanı sıra, sadece tekil yıldızları anlamada değil galaksiler, yıldız oluşum bölgeleri gibi çeşitli gökcisimlerin incelenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Rieke vd. 2024).

2.4 Yıldızların Yaşanabilir Bölge ve Sınırlarının Tanımları

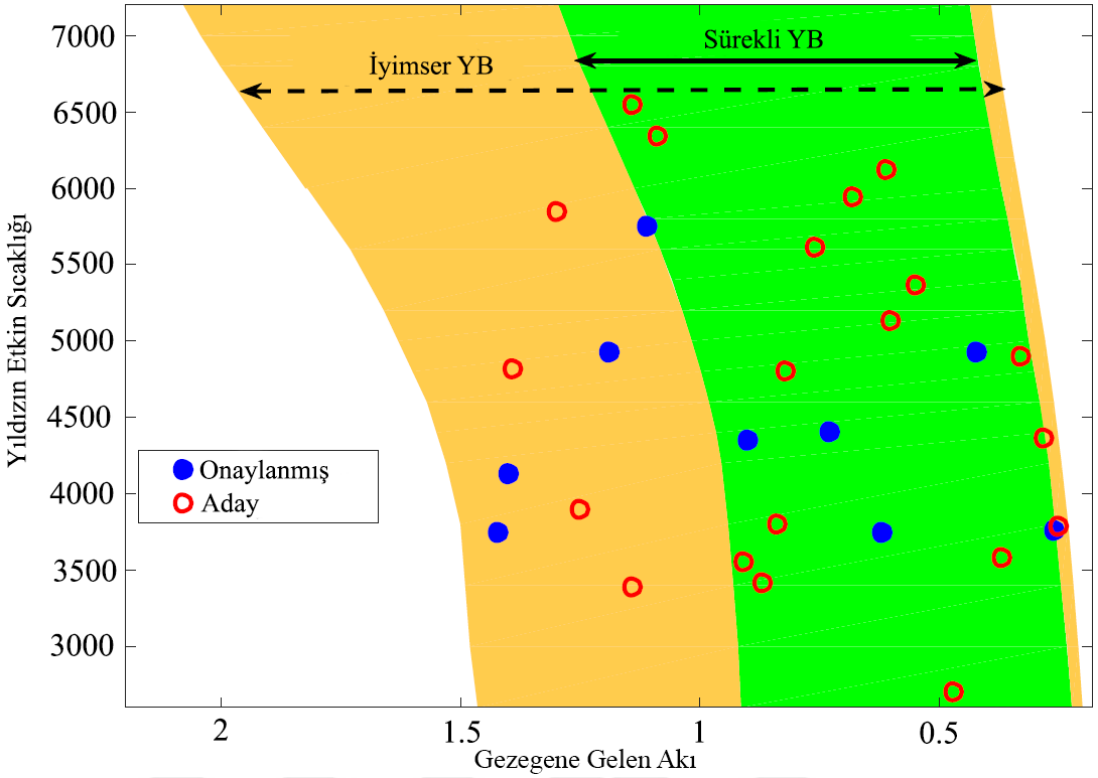
Son birkaç on yılda ötegezegen alanında yapılan çalışmalar ve keşifler, gezegen ve gezegen sistemlerinin büyük bir çeşitliliğe sahip olduğunu göstermektedir (Winn ve Fabrycky 2015). Öyle ki bu keşifler karasal gezegenlerin dev gezegenlere kıyasla daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır (Borucki 2016). Devam eden bu ötegezegen avında, asıl cevaplanmak istenen soru ise yaşanabilir bir gezegen olup olmadığıdır. Keşfedilen bu gezegen veya gezegen sistemleri düşünüldüğünde, içlerinden birinin yaşama veya bu potansiyele sahip olma olasılığı oldukça yüksektir. Bu tür gezegenleri keşfetmek hem astrofizik hem de astrobiyoloji için oldukça önemli bir konudur (Glaser vd. 2020, Lisse vd. 2020). Detaylı olarak gözlemlenebilen gezegen Dünya olduğundan, aranan kıstaslar

anladığımız canlılığa göre şekillenmektedir. O yüzden temel olarak yaşam arayışında enerji kaynağı, sıvı su ve biyo-gerekli unsurlar olmak üzere üç temel bileşen dikkate alınmaktadır. O halde bu tür dünyaların tanımlanması yolunda ilk kıstasın yüzeyinde sıvı suya sahip olması ve bunu sürdürebilir şartlara sahip olması pek şaşırtıcı değildir. Bu kıstaslar, gezegenlerin tanımlanması için potansiyel bir yol olarak yüzeyinde sıvı su varlığını mümkün kılabilecek yıldız ve gezegen parametre alanını daraltmaktır. Bu durum yaşanabilir bölge (YB) tanımının temelini oluşturmaktadır.

O halde bir yıldız için yaşanabilir bölge (YB) tanımlaması, uygun kütle veya yarıçapta karasal bir gezegenin yüzeyinde suyun sıvı halde olabileceği, koruyabileceği ve aynı zamanda bir biyosfere sahip olabileceği bölge olarak yapılmaktadır (Hart 1978, 1979). Bu tanım yaşanabilirlik için uygundur. Çünkü gezegende karbon bazlı, fotosentetik yaşamın yeterli bollukta bulunarak gezegenin atmosferini uzaktan tespit edilebilecek şekilde değiştirme olasılığını sağlar. Bu tanım, başta basit bir ışınım akı modeliyken, çeşitli yıldız ve gezegen özelliklerinin de dâhil edilmesiyle zaman içinde geliştirilmiştir. Böylece barınak yıldızın ve gezegenin sahip olabileceği bu özelliklerin yaşanabilirlik üzerinde oluşturacağı bir takım karmaşık süreçler de hesaba katılmıştır.

Literatürde YB sürekli (ing. conservative habitable zone, CHZ) ve iyimser yaşanabilir bölge (ing. optimistic habitable zone, OHZ) olarak iki ana kısıma ayrılmaktadır (Kasting vd. 1993, Kopparapu vd. 2013a, Kane vd. 2016). Sürekli yaşanabilir bölgenin iç sınırı kontrolsüz sera sınırı, dış sınırı ise maksimum sera sınırı ile tanımlanmaktadır. İyimser yaşanabilir bölge için ise iç sınır son Venüs sınırı ve dış sınır erken Mars sınırı ile tanımlanmaktadır. Bu sınırların gösterimi şekil 2.8‘de verildi.

İç Sınır: Yaşanabilir bölgenin iç sınırını belirleyen etkiler genellikle gezegen atmosferinde sıcaklığa bağlı ortaya çıkabilecek farklı felaket senaryolarına göre olarak hesaplanmaktadır (Kasting vd. 1993, Underwood vd. 2003, Kopparap vd. 2016). u vd. 2013a, Kane



Şekil 2.8 Kane vd. nin (2016) çalışmasında kullandığı gezegenlerden doğrulanmış adaylar (dolu mavi daireler) ve doğrulanmamış adaylar (kırmızı daireler) için sürekli ve iyimser YB sınırlarının gösterimi.

Bunlardan ilki, Dünya gibi bir gezegen için yüzey sıcaklığının hızlı ve kontrolsüz bir şekilde artması, su için kritik değeri (saf H_2O için 647 Kelvin) aşmasına sebep olacaktır. Bunun sonucunda tüm su kaynakları ve okyanus(lar) buharlaşacaktır. Bu durum "*Kontrolsüz Sera Sınırı (ing. Runaway Greenhouse)*" olarak adlandırılır (Goldblatt ve Watson 2012). Bu sınırda gezegen atmosferi artık çok yüksek sıcaklıklara ulaşmıştır. Bu aşamada gezegen atmosferi tarafından soğurulan ışınım miktarı, yine gezegen atmosferinin yaydığı ısısal ışınım miktarından fazladır. Bu şekilde bir atmosferin ömrü sınırlıdır. Çünkü üst atmosfer su bakımından zengin bir hale geldiğinde, foto-ayrışmaya (ing. photodissociation) uğrayacak ve ardından uzaya Hidrojen (H) kaçırmaya başlayacaktır. Böylece gezegen, atmosferini birkaç on milyon yılda kaybedecektir (Kasting 1988, Kopparapu vd. 2013a). İkinci iklim felaketi senaryosuna göre; bir gezegenin suyunu kaybetmesi için illa çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç yoktur. Gezegen

atmosferinde yoğunlaşabileceği yüksekliğin üstünde bulunan gaz halindeki suyun (H_2O), H kaçışına neden olacak difüzyon sınırını aşmasıyla hızla foto-ayrışmaya maruz kalacaktır. Böylece gezegen yine atmosferini zaman içinde kaybedecektir. Bunun olduğu sınıra "*Nemli Sera Sınırı (ing. Moist Greenhouse)*" adı verilmektedir. Kısacası, nemli sera sınırı, yıldızdan daha düşük ışınım aldığı seviyelerde de gerçekleşebilir. Dolayısıyla yaşanabilirliğin bitmesi için ısısal bir kaçış olmadan da nemli sera süreci bunu sonlandırabilecek potansiyele sahip olabilmektedir. Üçüncü olarak da, Venüs gezegeninin temel alındığı sınırdır. Bu sınır hesaplamasında, Venüs'ün yüksek miktarda suya sahip olduğu ve zaman içinde bunu kaybettiği teorisi temel alınır. Bu sınıra da "*Son Venüs Sınırı (ing. Recent Venüs)*" adı verilmektedir (Kasting vd. 1993).

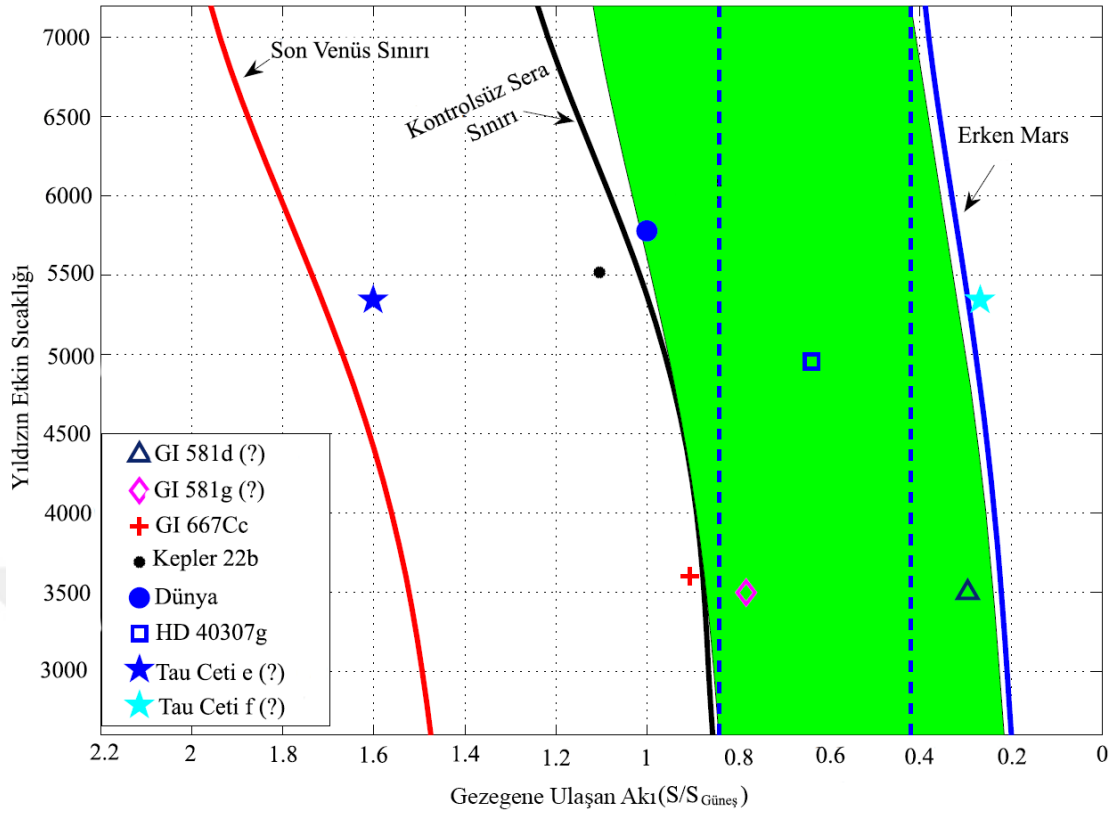
Kopparapu vd. nin (2013a) çalışmasında Güneş için hesaplanan teorik YB iç sınır uzaklıkları verilmektedir. Bu çalışmaya göre nemli sera sınırı 0.99 AB, kontrolsüz sera sınırı 0.97 AB ve son Venüs sınırı 0.75 AB olarak önerilmektedir. Literatürde de, Güneş için modellerden elde edilen teorik hesaplamalar ile nemli sera sınırı 0.95 AB ve kontrolsüz sera sınırı 0.84 AB'dir (Kasting vd. 1993). İyimser bir tahmin olan son Venüs sınırı için ise 0.75 AB uzaklık önerilmektedir (Solomon ve Head 1991). Burada bulunan bu Venüs sınırının kendi yörünge yarı-büyük eksen uzunluğundan (0.72 AB) büyük olduğunu belirtmekte fayda vardır. Çünkü yüzeyinde suya sahip olabilmesi koşulu gezegenin tarihinin daha erken bir dönemi dikkate alınarak yapılmaktadır.

Dış Sınır: Yaşanılabilir bölgenin dış sınırı Dünya benzeri bir gezegen atmosferinin karbon döngüsü temel alınarak belirlenmektedir. Gezegen atmosferindeki karbondioksit (CO_2), volkanik aktivitelerle salınır. CO_2, atmosferden ayrışarak (kimyasal reaksiyonlarla çözülerek) deniz tabanına karbonat şeklinde çökelir. Bu sürecin hızını, gezegenin iklimi belirler. Örneğin, gezegen soğuduğunda daha az yağmur yağacağı için bu süreç yavaşlar ve atmosferde daha fazla CO_2 birikmeye başlar. Daha az yıldız ışığı alan gezegenlerde, CO_2 atmosferde daha çok birikir. Ancak, CO_2 belli bir seviyeye geldiğinde, atmosferden yoğunlaşarak çıkmaya başlar. Bugünkü Mars'ta gördüğümüz gibi, CO_2 belirli koşullarda donarak buza dönüşebilir. Bu nedenle, ilk teorik tahminler yaşanabilir bölgenin dış sınırını, bu CO_2 yoğunlaşmasının başladığı mesafe olan "*ilk CO_2 Yoğunlaşması Sınırı*"

olarak tanımlamaktadır. Fakat daha sonra yapılan araştırmalar, CO_2 buz bulutlarının gezegen yüzeyini ısıtabileceğini gösterdiğinden (Mischna 2000) bu teorik sınır artık geçerli sayılmamaktadır. Bunun üzerine yaşanabilir bölgenin dış sınırı için geçerli kabul edilen tahmin, "*Maksimum Sera Sınırı (ing. Maximum Greenhouse)*" olarak adlandırılmaktadır (Kopparapu vd. 2013a). Bu mesafe, CO_2'nin bir gezegeni ısıtabileceği en uzak noktadır. Bu sınır, CO_2'nin sera etkisiyle, 273 K yüzey sıcaklığınının korunduğu minimum yıldız ışınımı için yeterli mesafeyi ifade eder. CO_2 miktarı arttıkça gezegenin albedosu artar ve daha fazla ışığı geri yansıtır. Dolayısıyla gezegenin yüzeyi soğumaya başlar. Son olarak dış sınır için diğer bir tahmin de Mars'ta gözlemler üzerinden yapılmaktadır. Mars'ın yüzeyinde sıvı su olduğu teorisi temel alınarak hesaplanan bu sınıra "*Erken Mars Sınırı (ing. Early Mars)*" denir.

Bu dış sınır uzaklıkları Güneş için; Kasting vd. (1993) çalışmasında ilk CO_2 yoğunlaşması sınırı 1.37 AB, maksimum sera sınırı 1.67 AB ve erken Mars sınırı 1.77 AB olarak verilmektedir. Kopparapu vd. (2013a) çalışmasında maksimum sera sınırı 1.67 AB ve erken Mars sınırı 1.77 AB olarak hesaplamıştır.

Bu sınırların belirlenmesinde kabul edilen koşullar için farklı yaklaşım ve öneriler de mevcuttur (Selsis vd. 2007, Zsom vd. 2013). Bu yaklaşımlar, belirlenen bu sınırlara bulutların etkisi, düşük nem oranına sahip gezegen potansiyeli gibi farklı koşulları da dâhil etmektedir. Ayrıca yaşanabilirlik kriterimizin yalnızca gezegenin tüm yüzeyi değil sadece kutuplarla sınırlandıracağımız "Dune benzeri" gezegen modelleri de önerilmektedir (Abe vd. 2011).



Şekil 2.9 Farklı yüzey sıcaklığına sahip yıldızlar için YB sınırları. Yeşil renkli alan, nemli sera sınırı ve maksimum sera sınırı tarafından belirlenen YB sınırlarını göstermektedir. Yeşil bölgede kesikli çizgiler arasında olan bir gezegen aldığı ışınıma ve yıldızının türüne bağlı olmadan YB içinde kabul edilir. Önceki çalışmalarda YB içinde olduğu düşünülen bazı ötegezegenler de gösterilmektedir. Gl 581 ve Tau Ceti sistemlerindeki gezegenler için gösterilen soru işareti, gezegenlerin varlığının tartışıldığı anlamına gelmektedir (Kopparapu vd. 2013a)

Sonuç olarak, YB genişliğinin tahminleri yapılırken sürekli veya iyimser olması tartışması oldukça havada kalmaktadır. Çünkü her iki yaklaşımın da farklı amaçlar için kullanışlı olabileceği dikkate alınmalıdır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda YB'nin tanımının dikkatli bir şekilde yapılması ve her iki yaklaşımın da değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece, potansiyel yaşanabilir gezegenlerin tespiti daha etkili hale getirilebilir.

2.4.1 Yaşanabilirliği etkileyen koşullar

Yaşanabilirlik için her yıldız ve yıldız sistemleri gerekli koşullara sahip olmayabilir. Bir ötegezegende yaşanabilirliği etkileyebilecek çeşitli parametreler ve dinamikler söz konusudur. Bu parametreler gerek barınak yıldızın özelliklerine gerekse gezegen özelliklerine doğrudan veya dolaylı bağımlılık göstermektedir (Kopparapu vd. 2013a, Seager vd. 2007). Bu yüzden yıldızların sahip olduğu özelliklerin anlaşılması ve kendi koşulları içinde değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

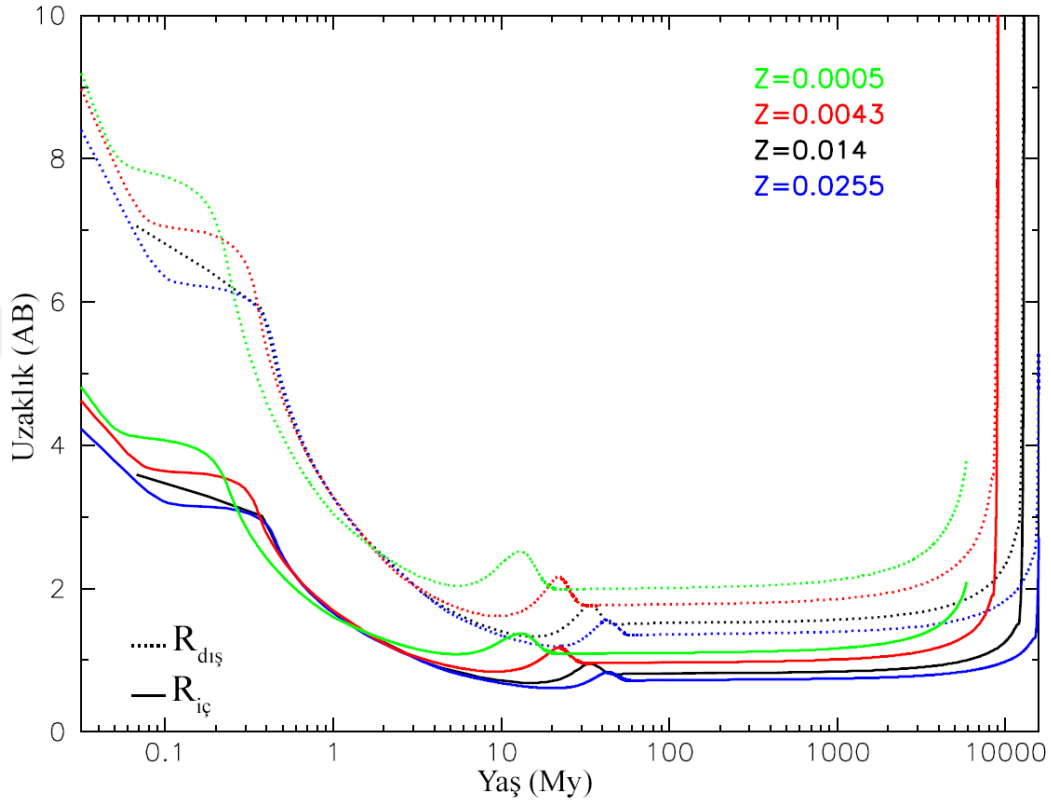
Bu durumda bir gezegende yaşanabilirlik için öncelikle barınak yıldızın özellikleri belirleyici bir rol oynamaktadır. Özellikle yıldız sıcaklığının bir göstergesi olan tayf türü oldukça önemlidir. Yaşanabilirlik yıldızın tayf türüne doğrudan bağımlıdır ve YB sınırlarını direkt etkilemektedir. Yapılan bazı istatistik çalışmalar, YB gezegenlerinin G ve K tayf türündeki yıldızların etrafında daha yaygın bulunduğunu göstermektedir (Jiang vd. 2024). Bu yıldızlar, erken tayf türü yıldızlara göre daha uzun ömürlü oldukları ve sıvı su için uygun koşullar sağladıkları için yaşanabilir gezegen çalışmalarında öncelikli bir konumda yer almaktadırlar (Jiang vd. 2024). Bir F tayf türünden yıldızın etrafındaki YB, Güneş'imizden daha büyük ve daha uzakta bulunmaktadır. K tayf türünden yıldız için daha küçüktür ve daha içte bulunmaktadır. Galaksimizde bolca bulunan M tayf türü yıldızlar da popüler hedefler arasındadır. Ancak sönük ve soğuk olduklarından bir takım zorluklara sahiptir (Shields vd. 2016). Bu yıldızların yaşanabilir bölgeleri yıldıza daha yakın ve dar olduğundan, bölge içindeki gezegenleri yıldız aktivitesine ve gelgit kitlenmesine (ing. tidal locking) karşı daha duyarlı hale getirmektedir (Jackson vd. 2008). Özellikle, düşük kütleli M cücelerinin etrafındaki YB gezegenlerinin ($a < 0.1$ AB), katı yapılarını bozabilecek gelgit kuvvetleri (ing. tidal forces), gezegenin atmosferik dinamiklerini etkileyen enerjide ve açısal momentumda (dönme) değişimlere sebep olacağından yaşanabilirliği etkileyebilmektedir (Yang vd. 2013, Kopparapu vd. 2016, Wolf 2017, Haqq-Misra vd. 2018). Bunun yanı sıra gezegeni erken dönemde etkileyecek yüksek ışınım seviyelerine de sahip olabilir, örneğin yıldızının ana kol öncesi evrim aşamasında olması gibi. (Ramirez ve Kaltenegger 2014). Dolayısıyla klasik YB'nin tanımı M yıldızlarının yaşanabilir gezegene sahip olabileceğini öne sürerken, ana kol

öncesi evrim bunun tam tersini söylemektedir. Bu tür zorluklara rağmen, M tayf türü yıldız popülasyonunun çokluğu düşünüldüğünde yaşanabilir gezegenler bu yıldızların etrafında aranmalı ve incelenmeye devam edilmelidir. Erken tayf türü yıldızlarda da yaşanabilir gezegenler olsa bile yapılan araştırmalar oldukça azdır. Elimizdeki yaşanabilir gezegen örneğine sahip tek gezegen yıldızımız Güneş olduğundan, genellikle araştırmalar geç tayf türü yıldızlar için yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla YB sınırlarının tanımlaması genellikle bu yıldızlar için yapılmıştır. Ancak son dönemlerde bu tanımın içine A tayf türü yıldızlarda eklenmiştir (Ramirez ve Kaltenegger 2014).

Yıldızların evrimine bağlı olarak ışınım şiddetlerindeki değişim de yaşanabilirlik üzerinde etkilidir. Bir yıldız evrim geçirirken, yaşanabilir bölgesi de değişir. Bu aşama YB'nin konumunu doğrudan etkiler. Bu durumda bölge başlangıçta yıldıza yakınken, zamanla dışa doğru hareket edebilir. Ayrıca yıldızların özellikleri ana kolda iken kararlı bir yapıda olsa da, ana koldan sonraki evrimi yıldızın sıcaklık, ışınım gücü ve yarıçapında önemli değişimlere yol açmaktadır. Örneğin bir yıldız kırmızı bir dev olduğunda, yörüngesindeki bir gezegenin maruz kalacağı ışınım miktarı da değişecektir. Yıldızın bu zamanla parlaklık değişimleri, gezegen için kısıtlayıcı bir gereksinime yol açabilir. Çünkü böyle bir değişim gezegen biyosferinde önemli etkilere sahiptir ve sürekli yaşanabilirlik için böyle değişimler tehdit oluşturmaktadır. O yüzden ileri evrim aşamalarındaki yıldızlar için yıldız evriminin atmosferik fotokimya üzerindeki etkisini ve tespit edilebilir biyosinyallerin nasıl değiştiğini anlamak oldukça önemlidir.

Yıldızların evrimsel aşamasının yanısıra YB için yıldızın metal bolluğu da dikkate alınmalıdır. Çünkü yıldız metal bolluğu yıldızın gerek yapısını gerekse evrimini etkileyen önemli bir parametredir. Metal bolluğundaki değişim yıldızın opasitesinde değişimlere yol açarak, Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramında yıldızın evrimi boyunca hem parlaklık hem de etkin sıcaklıkta değişime sebep olmaktadır. Sonuç olarak belirli bir başlangıç kütlesine sahip bir yıldız için metal bolluğundaki değişim YB sınırlarını doğrudan etkilemektedir. Metal bolluğunun yıldızın parlaklığı ve etkin sıcaklığı üzerindeki etkisine bağlı olarak YB' nin sınırlarının konum ve genişliğinin nasıl değiştiği Gallet vd.nin (2017) yaptığı çalışmada incelenmiştir. Çalışmada, $1M_{\odot}$ kütleli bir yıldızın

[Fe/H] değerinin +0.28 dex (Z = 0.0255) ile -1.42 dex (Z = 0.0005) arasında değişen farklı metal bolluklarına göre YB sınırlarının değişimi incelenmiştir (Şekil 2.10). Buna göre metal bolluğu azaldıkça YB'nin hem iç hem de dış sınırlarının yıldızdan uzağa kaydığı belirtilmektedir.



Şekil 2.10 1$M_\odot$ kütleli bir yıldızın farklı metal bollukları için (Z = 0.0255 mavi, Z = 0.014 siyah, Z = 0.0043 kırmızı ve Z = 0.0005 yeşil) YB sınırlarının evrimi. YB'nin iç sınırı ($R_{iç}$) düz çizgi ile, dış sınırı ($R_{dış}$) kesikli çizgi ile temsil edilmektedir (Gallet vd. 2017)

YB için diğer önemli olgulardan biri de yıldızların sahip oldukları kütleleridir. Yüksek kütleli yıldızların düşük kütleli yıldızlara kıyasla daha kısa bir yaşam süresine sahip olması, yaşamın oluşması için yeterli bir süre olmayabilir. Güneş'in kütlesinin iki katı olan bir yıldız bir milyar yıldan biraz daha fazla yaşarken, Güneş'in kütlesinin yarısına sahip bir yıldız için biçilen ömür yaklaşık 100 milyar yıldır ($t \approx t_\odot (M/M_\odot)^{-3}$). Bu durumda yüksek kütleli bir yıldızın yörüngesindeki bir gezegenin yüzeyinde yaşamın

gelişmesi oldukça zor olacak gibi görünmektedir. Bu yıldızların yaşanabilir bölgesi, çok daha parlak olmalarından dolayı yıldıza daha uzak bir konumda olacaktır. Düşük kütleli yıldızlar ise daha sönük olacaklarından bu bölge yıldıza daha yakın bir konumda olacaktır. Bu durum başka sorunları beraberinde getirecektir. Örneğin, gezegen yıldız arasında dönme dolanma kitlenmesi yaşanabilir. Bu da gezegen için dengesiz sıcaklık değerlerine sahip olması anlamına gelmektedir. Ancak bunun olmama ihtimali de göz önüne alınmalıdır (Jüpiter ve uydusu Europa gibi). Barınak yıldız ile ilgili bir diğer önemli konu, tekil veya çoklu yıldız sistemlerinden oluşuyor olmasıdır. Yaşanabilirlik için barınak yıldızın tekil olması daha istikrarlı bir durum oluşturacaktır. Çünkü çoklu yıldız sistemleri, yıldızları ve yörüngesindeki gezegenleri etkileyecek yörünge dinamiklerine sahip olacağından, bu durum da olumsuz bir koşul oluşturmaktadır.

YB üzerinde bir diğer yıldız kaynaklı etki de yıldızın aktivite seviyesidir. Geç tayf türünde oldukça yaygın olarak gördüğümüz yıldız aktivitesi (leke, flare veya koronal kütle atımları gibi) gezegenin bulunduğu yıldız ortamını ve gezegen atmosferini etkileyecek bir unsurdur. Yıldızların UV ve X-ışını akımlarının gücü ve güçlü yıldız rüzgarlarına maruz kalması yıldız aktivitesine bağlıdır ve bu aktivite zamanla azalır. Bu durum, yıldızın evrimi sırasında da azalan dönüş hızı ile ilişkilidir. Dolayısıyla, bir dış gezegenin atmosferinin evrimi ve yaşanabilirliği barınak yıldızının evrimi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir.

Yaşanabilirlik için barınak yıldız özelliklerinin yanı sıra gezegeninin veya içinde bulunduğu yıldız sisteminin özellikleri de oldukça önemlidir. Gezegenin sahip olabileceği atmosferi koruyabilmesi için aldığı ışınımın yanı sıra, kütlesi ve yarıçapıda önemlidir. Gezegenin 1.6 $R_{\oplus}$ altında bir yarıçapa sahip olmasıyla daha çok metal ve kayalıklı bileşime sahip olacağını ve yüzeyinde okyanusu destekleyebileceği kabul edilmektedir (Weiss ve Marcy 2014). Ayrıca atmosferini sürdürebileceği bir yer aktivitesine (levha tektoniği gibi) sahip olabilmesi için hesaplanan en düşük kütle sınırı 0.3 $M_{\oplus}$ olarak verilmektedir (Raymond vd. 2007). Bunun yanı sıra gezegenin yörünge parametreleri de (eğikliği, dönme hızı, dışmerkezlik ve yarı büyük eksen uzunluğu gibi) gezegenin aldığı ışınımı doğrudan etkilemektedir. Gezegenin yörünge dinamikleri onun yaşanabilir

olmasını kolaylaştırabilir veya zorlaştırabilir. Örneğin, gezegenin dairesel olmayan bir yörüngede bulunması yıldızla arasındaki mesafenin bir yörünge dönemi boyunca değişimine sebep olacaktır. Bunun sonucunda gezegenin aldığı toplam yıldız ışınımında bir değişim meydana gelecektir. Sistemdeki varsa diğer gezegenlerden ötürü kaynaklanan tedirginlik etkileri de dışmerkezliği etkileyebilir ve bu da gezegen iklimini değiştirebilir.

Sonuç olarak, bir gezegen için yaşanabilirliği etkileyen birçok parametre mevcuttur. YB sınırlarının tanımı bu parametreler göz önüne alındığında ve işin içine katıldığında oldukça yetersiz kaldığı düşünülebilir. Ancak nereden başlanacağını bilmek ve potansiyel YB gezegenlerini oluşturabilmek adına kullanışlı hatta gerekli bir tanım olduğu inkâr edilemez. Bu nedenle başlangıç olarak yıldızlar etrafında bu bölgenin tanımlanması ve hesaplanması oldukça önemlidir.

2.4.2 Yaşanabilir bölge sınırlarının hesaplanması

Yaşanabilir bölgenin teorik olarak hesaplanmasına yönelik çalışmalarda geliştirilen iklim modelleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Kasting 1993, Selsis 2007, Kopparapu 2013a, Windsor vd. 2024). Bunlar bir boyutlu (1-D) iklim modelleri veya henüz oldukça yeni olan üç boyutlu (3-D) iklim modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. 1-D iklim modelleri 3-D modellere göre oldukça basit bir yaklaşım içermektedir. Atmosferik sirkülasyon, gezegenin dönmesinin atmosfere etkileri ve bulutluluk gibi etkiler genellikle 1-D modellerde yer almamaktadır.

Güneş çevresindeki yaşanabilir bölge hesaplamaları için izlenen yol ve yöntemler, kullanılan bu modeller ile farklı tayf türlerindeki yıldızlar için de uygulanmaktadır. Kasting vd. (1993) çalışması yaşanabilir bölgenin tanımlanması ve hesaplanmasında öncü bir çalışma olarak kabul edilmektedir. Çalışma kapsamında Güneş benzeri yıldızlar için YB'nin sınırlarını tahmin etmişlerdir. Çalışmada etkin sıcaklıkları 7200 K, 5700 K ve 3700 K olan üç yıldız için hesaplamaları 1-D modeller ile yapmışlardır. Kullanılan bu sıcaklıklar sırasıyla F0, G0 ve M0 tayf türlerine karşılık gelmektedir. Standart bir Dünya modeli için farklı sıcaklık değerlerinde (200 K ile 2000 K arasında) atmosferin üst

kısmına gelen Güneş akısını ve atmosferden çıkan kızılötesi akıyı hesaplamışlardır. Aslında bu hesaplama yaşanabilirlik için oldukça temel ve basit bir tanıma karşılık gelmektedir. Bu da; gezegenden gelen karacisim enerjisi ile yine gezegen atmosferinin yıldızdan soğurduğu enerjinin denge sıcaklığında olmasıdır. O halde öncelikle yıldızdan gezegen yüzeyine gelen akıyı S olarak tanımlarsak;

$$S = \frac{L_S}{4\pi a^2} \tag{2.14}$$

burada L_s yıldızın ışınım gücü, a ise gezegenin yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğudur. Buradan gezegenin denge sıcaklığı (T_{eq}) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$T_{eq} = k\,[\frac{S(1-A)}{4\sigma}]^{1/4} \tag{2.15}$$

bu denklemde; A gezegenin albedosunu, σ Stefan-Boltzmann sabitini ve k ise gezegen atmosferinin varsayılan sera etkisini yaklaşık olarak hesaba katılmasıyla elde edilen düzeltme faktörünü ifade etmektedir. Yaşanabilirlik koşulu için sıcaklık 273 K < T_{eq} < 373 K arasında olması gerektiği kabul edilir. Burada düşük denge sıcaklık değeri YB'nin iç sınırını, yüksek değer ise dış sınırı ifade etmektedir.

Gezegenin enerji dengesini Kasting vd. nin (1993) ifade ettiği şekilde belirtirsek;

$$S_{eff} = \frac{F_{IR}}{F_S} \tag{2.16}$$

olarak hesaplanır. Burada S_{eff}, Dünya benzeri bir gezegenin atmosfer yüzeyine ulaşan yıldız akısıdır ve bu değer Dünya'nın kendi yörüngesindeki Güneş sabiti cinsinden:

$$s_{eff} = \frac{S}{S_\oplus} \tag{2.17}$$

olarak ifade edilir ($S_\oplus$ = 1368 Wm^{-2} (Underwood vd. 2003)). Artık YB sınırları;

$$d = (\frac{L/L_{\odot}}{S_{eff}})^{0.5} \quad (2.18)$$

formülü ile Astronomi Biriminde elde edilebilmektedir. Kasting vd.nin çalışmasında bulduğu sınır değerler çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1'de S_{eff} değerleri Dünya atmosferinin üstünde ki ortalama Güneş sabitine göre hesaplanmıştır (1368 Wm^{-2}). Hem M0 hem de F0 yıldızları için güncel Venüs ışınım değerleri, G2 yıldızındaki su kaybı ışınım değerlerine karşılık gelen güncel Venüs ışınım değerlerinin oranıyla çarpılan su kaybı ışınımlarından türetilmiştir (Underwood vd. 2003). Hem M0 hem de F0 yıldızları için erken Mars ışınım değerleri, G2 yıldızında maksimum sera etkisine karşılık gelen erken Mars ışınım değerlerinin oranıyla çarpılan maksimum sera ışınım değerlerinden türetilmiştir.

Çizelge 2.1 Yıldız akıları ve yaşanılabilir bölge sınırları (Kasting vd. 1993,Underwood vd. 2003)

		M0		**G2**		**F0**	
	YB Sınırları	**S_{eff}**	**d (AB)**	**S_{eff}**	**d (AB)**	**S_{eff}**	**d (AB)**
İç Sınır	Son Venüs sınırı	1.60	0.19	1.76	0.75	2.00	1.80
	Kontrolsüz Sera Sınırı	1.05	0.24	1.41	0.84	1.90	1.85
	Nemli Sera Sınırı (Water Loss)	1.00	0.25	1.10	0.95	1.25	2.28
Dış Sınır	ilk CO_2 Yoğunlaşması Sınırı	0.46	0.36	0.53	1.37	0.61	3.26
	Maksimum Sera Sınırı	0.27	0.47	0.36	1.67	0.46	3.76
	Erken Mars	0.24	0.50	0.32	1.77	0.41	3.98

Selsis vd. nin (2007) çalışmasında Kasting vd. nin (1993) yaptığı çalışma temel alınmıştır. Ancak çalışmadan farklı olarak bulutların etkisini dikkate almaktadır. Selsis vd.'ne (2007) göre bir gezegenin yaşanabilir olması için doğru mesafeyi bulmak, gerekli koşullardan sadece bir tanesidir. Diğer koşullar ise karmaşık jeofizik özelliklerden türetilmiştir. Bunlardan ilki gezegen yüzeyindeki su miktarıdır ve doğru sıcaklık ve basınçta sıvı halde kalabilmesini öngörür. Ayrıca gezegenin bu suyu destekleyecek boyutta olması beklenmektedir. Diğeri ise, atmosferdeki CO_2 birikimidir. Eğer yüzey sıcaklığı 273 K'nin altında olduğunda, gezegenin atmosferinde CO_2 birikirse bu karbonat-

silikat döngüsünün varlığını göstermektedir. Bu da gezegenin jeolojik olarak aktif olduğunu gösteren bir durumdur (Selsis vd. 2007).

Ayrıca çalışma, yoğun bir atmosfere sahip bir gezegenin denge sıcaklığının (T_{eq}) tek başına yüzey veya atmosferdeki fiziksel sıcaklıklar hakkında doğru bilgi vermediğini belirtilmektedir. Bu doğrultuda albedonun dikkate alınarak, gezegen için bulutluluk oranlarını hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan 1D modellere bulut tabakası ekleyerek, %100 bulut örtüsünün etkisini ve bulutların salınan IR radyasyonunu etkilemediğini varsayımı ile %50 bulut örtüsü (veya başka herhangi bir yüzde) ile yüzey sıcaklığı tahmin edilmiştir. Böylece bulutsuz ve bulutlu modeller birleştirilerek toplam albedoyu hesaplayarak soğurulan enerjinin salınan IR radyasyonu ile eşleştiği yörüngesel mesafe bulunmuştur. Bu yaklaşık hesaplama, yüzey sıcaklığının yaklaşık 373 K'nin üzerinde olduğu varsayımı altında yapılmaktadır.

Sonuç olarak Selsis vd.nin (2007) çalışmasında, Kasting vd.nin (1993) çalışması temel alınarak, yıldızların ışınımı ve etkin sıcaklığına bağlı olarak YB sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlar $l_{iç}$ ve $l_{dış}$ olarak adlandırılmış ve 3700 K ile 7200 K arasındaki F, G, K ve M tayf türlerine sahip yıldızlar için genişletilerek kullanılabileceği ifade edilmektedir. Bu sınırların belirlenmesi için kullanılan matematiksel ilişkiler, yıldızın özellikleri değiştikçe yaşanabilir bölgenin nasıl ayarlandığını da yansıtmaktadır.

$$l_{iç} = \left(l_{iç\odot} - 2.7619 \times 10^{-5} T_* - 3.8095 \times 10^{-9} T_*^2\right) * \left(\frac{L}{L_\odot}\right)^{1/2} \quad (2.19)$$

$$l_{dış} = \left(l_{dış\odot} - 1.3786 \times 10^{-4} T_* - 1.4286 \times 10^{-} T_*^2\right) * \left(\frac{L}{L_\odot}\right)^{1/2} \quad (2.20)$$

Burada $T_* = T_{eff} - 5700\,K$. $l_{iç}$ ve $l_{dış}$ AB, T_{eff} K birimindedir. Tayfsal sınıfın albedo üzerindeki etkisi yukarıdaki eşitliklerden de görüleceği gibi T_{eff} - 5700 ifadesinin bir kuadratik fonksiyonu olarak dâhil edilmektedir. Bulutların yansıtıcılığı dalgaboyuna daha az duyarlı olduğundan, bu kuadratik terim bulutlarla kaplı gezegenler için YB sınırlarını

ölçeklendirmek için geçerli olmayabilir. Ama gerçek sınır konumları, basit ışınım ölçeklendirmesi ve T_{eff} duyarlılığını içeren yukarıdaki eşitliklerle belirlenebilir.

Çalışmada Venüs ile Mars'ın evrimi üzerindeki kısıtlamalardan yararlanarak, F, G, K ve M tayf türlerine sahip yıldızlar için teorik ve ampirik yaşanabilir mesafeleri türetilmiştir. Eşitlikler kullanılarak son Venüs ile erken Mars sınırları için elde edilen değerler ve bulutluluk oranları çizelge 2.2' de verilmektedir.

Çizelge 2.2 Erken Mars ve son Venus sınır kriterlerine dayanan mevcut Güneş YB sınırlarını %50 ve %100 bulutluluk oranlarına bağlı vermektedir (Selsis vd. 2007)

$l_{iç}$ (AB)	**Venüs kriteri**	**Bulutluluk %0**	**Bulutluluk %50**	**Bulutluluk %100**
	0.72	0.84 – 0.95	0.68 – 0.76	0.46 – 0.51
$l_{dış}$ (AB)	**Mars kriteri**	**Bulutluluk %0**	**Bulutluluk %50**	**Bulutluluk %100**
	1.77	1.67	1.95	2.4

Çizelge 2.2'deki bu değerlere ulaşmak için, farklı gezegenlerin atmosfere sahip olma durumları ve sıcaklıkların etkileri incelenmiştir. Örneğin, bulut örtüsünün sıfır olduğu durumlarda, gezegenin yüzey sıcaklığı daha yüksekse, sera etkisi daha belirgin hale gelir. Ayrıca, bulut örtüsünün %50 veya %100 olduğu durumlarda, atmosferin IR geçirgenliği ve gezegenin albedo değeri gibi faktörler, yaşanabilirlik sınırlarını etkileyebilir (Selsis vd. 2007).

Kopparapu vd. (2013a) önceki çalışmalara dayanarak Güneş benzeri bir yıldız varsayımı ile gezegen yüzey sıcaklığına göre YB'nin iç ve dış sınır hesaplamaları yapmıştır. İç sınır için gezegen yüzeyinin IR soğurmasını, albedoyu ve S_{eff} dikkate almıştır. Dış sınır içinse CO_2 gazının belirli bir miktarda atmosferde bulunmasını ve yüzeyde sıvı suyu destekleyecek şekilde sera etkisini arttırmasını öngörmektedir.

Çalışmada, $2600\ K \leq T_{eff} \leq 7200\ K$ sıcaklık aralığına karşılık gelen F, G, K ve M ana kol tayf türleri incelenmiştir. Dünya benzeri bir gezegenin atmosfer üstüne ulaşan yıldız akısı

ve etkin sıcaklığı arasında bir polinom uyarlaması türetilmiştir. Bu bağlantı aşağıda verilmektedir.

$$S_{eff} = S_{eff\odot} + aT_* + bT_*^2 + cT_*^3 + dT_*^4 \quad (2.21)$$

Burada $T_* = T_{eff} - 5780\,K$. a, b, c ve d katsayıları YB'nin iç ve dış sınırlarını tanımlayan koşullar dikkate alınarak hesaplanmıştır ve çizelge 2.3' te verilmektedir. Bu aşamadan sonra artık YB sınırları için gerekli S_{eff} değerlerini kullanarak iç ve dış sınırların mesafesi Kasting vd. nin (1993) önerdiği eşitlikle hesaplanabilir.

$$d = \left(\frac{L/L_\odot}{S_{eff}}\right)^{0.5} \quad (2.22)$$

Böylece Astronomi Biriminde uzaklıklar elde edilebilmektedir. S_{eff} parametresi iklim modelinden doğrudan hesaplanmakta olup, dikkate alınan yıldız türüne bağlıdır.

Çizelge 2.3 2600 K ≤ T_{eff} ≤ 7200 K aralığındaki yıldızların yaşanabilir yıldız akılarını hesaplamak üzere kullanılan katsayılar ve bunlara karşılık gelen yaşanabilir bölgeler (Kopparapu vd. 2013b). Katsayılar bulutsuz bir iklim modeli kullanılarak hesaplanmıştır

Sabit	**Son Venüs sınırı**	**Kontrolsüz Sera Sınırı**	**Nemli Sera Sınırı**	**Maksimum Sera Sınırı**	**Erken Mars Sınırı**
$\mathbf{S_{eff\odot}}$	1.7763	1.0385	1.0146	0.3507	0.3207
a	1.4335×10^{-4}	1.2456×10^{-4}	8.1884×10^{-5}	5.9578×10^{-5}	5.4471×10^{-5}
b	3.3954×10^{-9}	1.4612×10^{-8}	1.9394×10^{-9}	1.6707×10^{-9}	1.5275×10^{-9}
c	-7.6364×10^{-12}	-7.6345×10^{-12}	-4.3618×10^{-12}	-3.0058×10^{-12}	-2.1709×10^{-12}
d	-1.1950×10^{-15}	-1.751×10^{-15}	-6.8260×10^{-16}	-5.1925×10^{-16}	-3.8282×10^{-16}

Bu hesaplamlarda çizelge 2.3'te verilen sabitlerin değerleri, iç ve dış sınırın tanımlanmasındaki kabullere göre çalışmadan çalışmaya farklılık gösterecektir. Bu değerler kullanılan modellerde özellikle gezegenin bulutluluk durumunu dikkate alıp almadığına oldukça bağımlıdır. Şöyle ki H_2O bulutlarının, albedoya olan katkılarının sera etkisine katkılarını aşması beklendiğinden, iç sınırı daha içeriye kaydırması beklenir

(Kasting 1988, Selsis vd. 2007). Bu bulut etkilerinin doğasını, Selsis vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada 1D iklim modelleri kullanılarak gösterilmektedir. Ancak, bulutların gezegen atmosferini ısıtma veya soğutma etkisi bulut yükseklikleri, optik derinlikleri, parçacık boyutları ve en önemlisi bulut kaplama oranı gibi birçok parametreye bağlı olduğundan, nicel tanımlamalar yapmak oldukça zordur.

Bu çalışmalar aynı temel çıkış noktalarına dayansa da aralarında farklılık yaratan unsur, YB sınır kriterlerinin ne şekilde dikkate alındığı ve model hesaplamalarına nasıl dâhil edildiğidir. Her bir yöntemle elde edilen YB sınır hesaplamaları seçilen kritere doğrudan bağımlılık gösterecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Aday Yıldızların Seçimi

Bu çalışmada TESS (Transit Exoplanet Survey Satellite) uzay teleskobu ile fotometrik olarak gözlenen ancak tayfsal çalışması bulunmayan 15 adet yıldız seçildi. Çalışma kapsamında gözlem ve analizleri yapılacak hedef yıldız listesi çizelge 3.1'de verildi. Bu yıldızlar için tayfsal veri sağlanacağından gözlenebilirlilik durumları seçim sırasında dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.1 Seçilen aday yıldız listesi ve SIMBAD Astronomik Veri Tabanı'ndan (Wenger vd. 2000) alınan bilgileri

Yıldız (TIC)	Yıldız (HD)	Sağ Açıklık α(2000)	Dik Açıklık δ(2000)	m_v (kadir)	Tayf Türü
137159259	11844	02 00 38.454	+75 57 10.175	7.040	K5
139431842	16028	02 35 38.741	+37 18 44.133	5.710	K4III
428517443	23049	03 44 06.427	+48 31 25.168	6.042	K4III
266398305	25350	04 03 56.031	+48 39 43.060	7.150	K0
373024281	28171	04 26 50.970	+07 05 41.001	6.990	G5
368484015	34190	05 17 48.728	+46 07 41.082	7.250	K3III
4164940	60935	07 38 20.732	+33 11 12.329	6.850	G5
355952671	74653	08 51 00.275	+73 45 07.349	7.410	K5/6
120690451	177697	19 04 01.666	+40 06 58.390	7.760	K5
110840431	187734	19 51 26.841	+04 05 19.058	6.510	K2/3III
86440291	188484	19 54 09.697	+33 46 51.549	6.760	K0
417037780	193090	20 16 35.981	+45 20 20.867	7.120	K5III
456607342	196345	20 36 15.893	+16 48 53.021	6.570	K2
305096099	204603	21 29 34.496	+06 34 52.962	6.410	K0
154064567	215705	22 46 21.064	+46 12 54.306	6.530	K5

3.2 Aday Yıldızlar Hakkında Yapılan Önceki Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında kullanılan hedef yıldızlarla ilgili daha önce tayfsal bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla tayfsal yöntemler kullanılarak bu yıldızların atmosfer ve mutlak parametre hesapları yapılmamıştır. Ancak yıldızların, TESS (Transit Exoplanet Survey Satellite) ile elde edilmiş fotometrik verileri mevcuttur. TESS, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından 2018 yılında fırlatılan bir uzay teleskobudur. TESS'in ana görevi, yakın yıldızların önünden geçen gezegenlerin tespit edilmesi ve bu gezegenlerin parametrelerinin belirlenmesidir. TESS, büyük bir bölgeyi tarayarak gezegen geçişlerini gözlemleyip, özellikle düşük kütleli gezegenlerin ve yaşanabilir bölgeye sahip gezegenlerin keşfini sağlamayı hedeflemektedir. TESS, dört geniş alan gören kamera kullanarak gökyüzünün %85'ini gözlemleyecek şekilde tasarlanmıştır. Gözlem yaptığı bölgelere "sektör" adı verilir ve bu sektörler 26 derece dikdörtgen şeklinde bir görüş alanına sahiptir. Her sektör, yaklaşık 27 gün boyunca gözlemlenir, bu da yıldızların ışık eğrilerinin detaylı bir şekilde toplanabilmesini sağlar. Gözlem yaptığı alanlar, Dünya'nın etrafındaki yörüngesindeki hareketine bağlı olarak zaman içinde değişir ve her yıl yeni sektörler gözlemlenir.

Bu çalışmada kullanılan yıldızlar için TESS'in farklı sektörlerine ait ışık eğrileri ekler bölümünde verilmektedir (Çizelge 3.2). Seçilen adayların Ek 1'de verilen ışık eğrilerinde görüleceği üzere, düzensiz ışık değişimleri dikkat çekmektedir.

Çizelge 3.2 Seçilen aday yıldızların TESS ile gözlenen sektörlerleri

Yıldız	Gözlenen sektörler
HD 11844	18, 19, 25, 52, 58, 59, 73
HD 16028	18, 58
HD 23049	18, 19, 59
HD 25350	19, 59
HD 28171	32
HD 34190	19, 59, 73
HD 60935	20, 44, 45, 46, 47, 60
HD 74653	14, 20, 26, 40, 47, 53, 60

Çizelge 3.2 Seçilen aday yıldızların TESS ile gözlenen sektörlerleri (devam)

Yıldız	Gözlenen sektörler
HD 177697	14, 40, 41, 53, 54
HD 187734	54
HD 188484	14, 41, 54
HD 193090	14, 15, 41, 55, 56
HD 196345	55
HD 204603	55
HD 215705	56, 57

de Medeiros ve Mayor'un (1999) F, G ve K tayf türünden bazı yıldızların dönme ve radyal hızlarını ölçtükleri çalışmasında, aday yıldızlarımızdan HD 16028 ve HD 23049 için vsin*i* değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler; HD 16028 için vsin*i* (km/s) = 1.6 ± 1.1 ve HD 23049 için ise vsin*i* (km/s) =1.7 ± 1.0 olarak elde edilmiştir.

HD 177697 yıldızının dâhil edildiği van Belle vd. nin (1999) çalışmasında, interferometri yöntemiyle 69 dev ve süperdev yıldız için açısal çap hesaplanması yapılmıştır. Bu hesaplanan açısal çaplar ile Hipparcos paralaksı kullanılarak adayların yarıçap ve etkin sıcaklık gibi bazı fiziksel parametreleri deneysel olarak elde edilmiştir. HD 177697 yıldızı için hesaplanan T_{eff} (K) = 4194 ± 298, θ_R (ing. angular diameter (mas)) = 1.34 ± 0.06 ve bolometrik akı değeri $F_{bolometrik}$ (10^{-8} ergs $cm^{-2}s^{-1}$) = 18.5 ± 5.0 olarak verilmektedir.

Famaey vd.nin (2005) yaptığı çalışmada, Güneş komşuluğundaki 5952 adet K ve 739 adet M tayf türünden dev yıldızlara ait radyal hız verilerini kullanarak kinematik analizini yapmışlardır. Çalışmada yıldızlar; genç kinematiğe sahip parlak devler ve süperdevler grubu, yüksek hızda hareket eden yıldızlar grubu ve normal yıldızlardan oluşan bir grup olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Bu üçüncü grup, birçok küçük ölçekli yapı sergilemektedir ve bu küçük ölçekli yapılar da altı grup olacak şekilde (Y: genç kinematiğe sahip yıldızlar, HV: yüksek hızlı yıldızlar, HyPl: Hyades-Pleiades yıldız akıntısı, Si: Sirius akıntısı, He: Herkül yıldız akıntısı ve B: Homojen arka plan yıldızları) sınıflandırılmıştır. Aday yıldızlardan bazıları bu çalışma kapsamında incelenmiş, uzaklık,

sönümleme katsayısı ve kinematik grup sınıflaması belirtilmiştir (Çizelge 3.3). Çalışmaya dâhil edilen aday yıldızların radyal hız değişimine dair kanıt olmadığı ifade edilmiştir.

Çizelge 3.3 Famaey vd. nin (2005) çalışmasına dâhil edilen aday yıldızlar ve elde edilen sonuçlar

Yıldız	D (pc)	Kinematik Grup
HD 11844	332.4 ± 57.1	B
HD 16028	236.5 ± 46.2	Y
HD 23049	297.5 ± 63.7	Y
HD 74653	321.8 ±57.3	B
HD 187734	667.9 ± 224.3	Y
HD 188484	274.0 ± 40.1	He
HD 193090	412.4 ± 86.3	B
HD 196345	288.5 ± 55.3	B
HD 204603	275.7 ± 61.6	Si
HD 215705	279.3 ± 44.9	B

Tetzlaff vd.nin (2011) çalışmasında Güneş'ten 3 kpc uzaklıkta bulunan 7663 genç Hipparcos yıldızının kaçak yıldız (ing. Runnaway stars) olup olmadığı araştırılmıştır. Yıldızlar için uzay hızı, radyal hız ve teğetsel hız ile onun bir boyutlu bileşenlerini incelemişlerdir. Bu kapsamda aday yıldızlarımızdan HD 177697 ve HD 187734 için kütle ve yaş hesaplamaları yapılmıştır. Bulunan sonuçlar sırasıyla, HD 177697 için M ($M_\odot$) = 6.3 ± 0.7 ile yaş (Myr) = 60.5 ± 17.2 ve HD 187734 için M ($M_\odot$) = 8.8 ± 0.1 ve yaş (Myr) = 29.0 ± 3.4 hesaplamaları yapılmıştır.

McDonald vd.nin (2012) yaptığı çalışmada aday yıldızlarımızdan on tanesi bulunmaktadır. Bu çaşlışmada Hipparcos verileri kullanılarak temel parametrelerini belirlemek için BT-SETTL (Allard vd. 2003) model atmosfer ile SED uyumlaması yapılmıştır. Çalışmada SED'nin optik, yakın ve orta-IR (kızılötesi) bölgelerdeki artık akı miktarını nicelendirerek, IR fazlalığı gösteren (ing. Excess Infrared Ratio, EIR) yıldızları belirlemişlerdir. Bu parametre, model atmosferlerden türetilen tayfsal enerji dağılımı (SED) ile gözlemler arasındaki uyumu değerlendirir ve yıldızın çevresindeki toz üretimi gibi fenomenleri incelemek için kullanılır. Çalışmada özellikle dev yıldızların etrafındaki EIR ile izlenen toz üretimi araştırılmıştır ve bunun kütle kayıp hızları ile ilişkilendirilebileceği belirtilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek EIR

değerlerine sahip önemli sayıda yıldız olduğunu belirtmişlerdir. IR fazlalığı için her yıldızın parlaklığına göre değişen bir ölçü birimi olarak tanımlamışlardır ve bunu EIR > 2.65 – log (L)/3 olarak ifade etmişlerdir. Bu eşik 2σ (istatistiksel anlamda, verinin standart sapmasının iki katı) değerine eşit veya büyük fazlalıklar dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada, EIR değerinin çevresindeki toz üretiminin olduğu yıldızları belirlemek için iyi bir araç olduğu ve dev yıldızlarda da bu durumun gözlemlendiği vurgulamaktadır. Buna ek olarak çalışmada, dev yıldızlar için toz üretiminin 680 $L_{\odot}$ civarında başladığını belirtmektedir. Ayrıca çalışma içinde kullanılan yıldızlar için sıcaklık ve uzaklık hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmaya dâhil edilen aday yıldızlarımız ve bu yıldızlar hakkında elde edilen parametreler çizelge 3.4'te verilmektedir. Bu çalışmaya göre seçtiğimiz aday yıldızlarımızın önemli bir IR artığı göstermediği görülmektedir.

Çizelge 3.4 McDonald vd. nin (2012) çalışmasına dâhil edilen aday yıldızlar ve çalışma kapsamında elde edilen parametreler

Yıldız	**T_{eff} (K)**	**D (pc)**	**EIR**
HD 11844	3622	559.2	1.09
HD 16028	4371	192.2	1.23
HD 23049	4035	312.5	1.08
HD 60935	4301	246.9	1.09
HD 74653	3964	364.9	1.08
HD 177697	3678	675.6	1.02
HD 187734	4128	763.4	1.08
HD 188484	4000	310.6	1.14
HD 193090	4100	297.6	1.16
HD 196345	4368	271.0	1.33

Kervella vd. nin (2019) seçtikleri hedef yıldızlar için yüksek çözünürlüklü astrometri yöntemi ile yörüngelerinde bulunabilecek yıldız ve yıldız-altı kütleli bileşenlerin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, aday yıldızlarımızdan 12 tanesi bulunmaktadır. Çalışma, yıldız yörüngesinde bulunabilecek ikincil cisimlerin kütle çekiminden kaynaklanan yansıma hareketlerine sebep olacağını ve bunun barınak yıldızın öz hareketini etkilemesiyle tespit edilebileceği ifade edilmektedir. Bu amaçla, adayların uzun vadeli öz hareketlerindeki değişimlerin belirlenmesi için Gaia'nın ikinci veri yayını (GDR2, Gaia Collaboration 2016, 2018) ve HIPPARCOS (van Leeuwen 2007)

kataloglarındaki ortak yıldızlar seçilmiş ve uzun dönem öz hareketleri hesaplanmıştır. Daha sonra, belirlenen uzun dönem öz hareket vektörü ile kataloglardaki ölçümleri arasında bir öz hareket anomalisi (ing. proper motion anomaly, PMa) aranmış ve yörüngede bozulmaya neden olan ikinci bir cismin varlığı saptanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında aday yıldızlarımızdan bazıları incelenmiş ve çizelge 3.5'te verilen parametreler elde edilmiştir.

Çizelge 3.5 Kervella vd. nin (2019) çalışmasında dâhil edilen aday yıldızlar ve çalışma kapsamında elde edilen parametreler

Yıldız	$M_{yıldız}$ (M_Θ)	$R_{yıldız}$ (R_Θ)	M2 ($M_{jüpiter}$)
HD 11844	0.95	82.4	117.8
HD 16028	3.35	43.1	61.0
HD 23049	1.92	51.6	9.9
HD 60935	3.05	25.4	21.8
HD 74653	1.84	59.8	22.2
HD 177697	1.18	103.6	22.7
HD 187734	6.02	124.3	9.5
HD 188484	1.85	65.5	7.06
HD 193090	1.85	41.5	14.1
HD 196345	2.56	30.4	8.8
HD 204603	3.20	17.2	8.9
HD 215705	1.92	36.9	2.5

3.3 Aday Yıldızların Tayfsal Gözlemleri

Çalışmada, seçilen aday yıldızların tayfsal gözlemleri Ankara Üniversitesi Kreiken Rasthanesi'nde 2023 Yılı C gözlem dönemi kapsamında toplamda 15 gece boyunca yapıldı. Tayfsal veriler 80 cm'lik T80 Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobu'na bağlı yaklaşık 30000 çözünürlüklü tayfçeker yardımıyla ve 50 μm çaplı fiber kullanılarak elde edildi. Elde edilen yıldız tayfları ile ilgili bilgiler çizelge 3.6' da yer almaktadır.

Tayfsal verilerinin işlenebilmesi için aynı gecede kalibrasyon görüntüleri de alındı. Alınan kalibrasyon görüntüleri bias, dark, flat (düz-alan) ve Th-Ar (toryum-argon) lamba tayfı görüntüleridir.

Çizelge 3.6 Aday yıldızların tayfsal gözlem bilgileri

Yıldız (HD)	Sağ Açıklık α(2000)	Dik Açıklık δ(2000)	m_v (kadir)	Tayf Türü	Poz Süresi (s)	Tayf Sayısı
11844	02 00 38.454	+75 57 10.175	7.040	K5	2700	7
16028	02 35 38.741	+37 18 44.133	5.710	K4III	1500	8
23049	03 44 06.427	+48 31 25.168	6.042	K4III	1800	7
25350	04 03 56.031	+48 39 43.060	7.150	K0	2700	6
28171	04 26 50.970	+07 05 41.001	6.990	G5	2700	6
34190	05 17 48.728	+46 07 41.082	7.250	K3III	2700	5
60935	07 38 20.732	+33 11 12.329	6.850	G5	1800	5
74653	08 51 00.275	+73 45 07.349	7.410	K5/6	2700	4
177697	19 04 01.666	+40 06 58.390	7.760	K5	2700	6
187734	19 51 26.841	+04 05 19.058	6.510	K2/3III	1800	6
188484	19 54 09.697	+33 46 51.549	6.760	K0	1800	6
193090	20 16 35.981	+45 20 20.867	7.120	K5III	2700	5
196345	20 36 15.893	+16 48 53.021	6.570	K2	1800	8
204603	21 29 34.496	+06 34 52.962	6.410	K0	1800	6
215705	22 46 21.064	+46 12 54.306	6.530	K5	1800	7

3.4 Tayfsal Gözlem Verilerinin İşlenmesi

Aday yıldızların ham gözlemsel verileri bilimsel analiz aşamasına hazırlamak için indirgeme işlemi gerçekleştirilmelidir. Astronomide veri indirgemesi genellikle karmaşık bir adımdır ve dedektöre özel bazı hatalardan arındırılması gerekir. Veriler elde edildiğinde, yıldızların tüm tayfsal bilgileri iki boyutlu bir dizi boyunca dağıtılır ve bu nedenle dalgaboyu ekseni boyunca tek boyutlu bir akı dağılımına ulaşmak için tayfların doğru bir biçimde indirgenmesi gereklidir.

Bu çalışma kapsamında aday yıldızların ham verilerinin indirgeme işlemleri, oldukça yaygın olarak tercih edilen bir program olan IRAF[1] (Image Reduction and Analysis

[1] https://iraf-community.github.io/

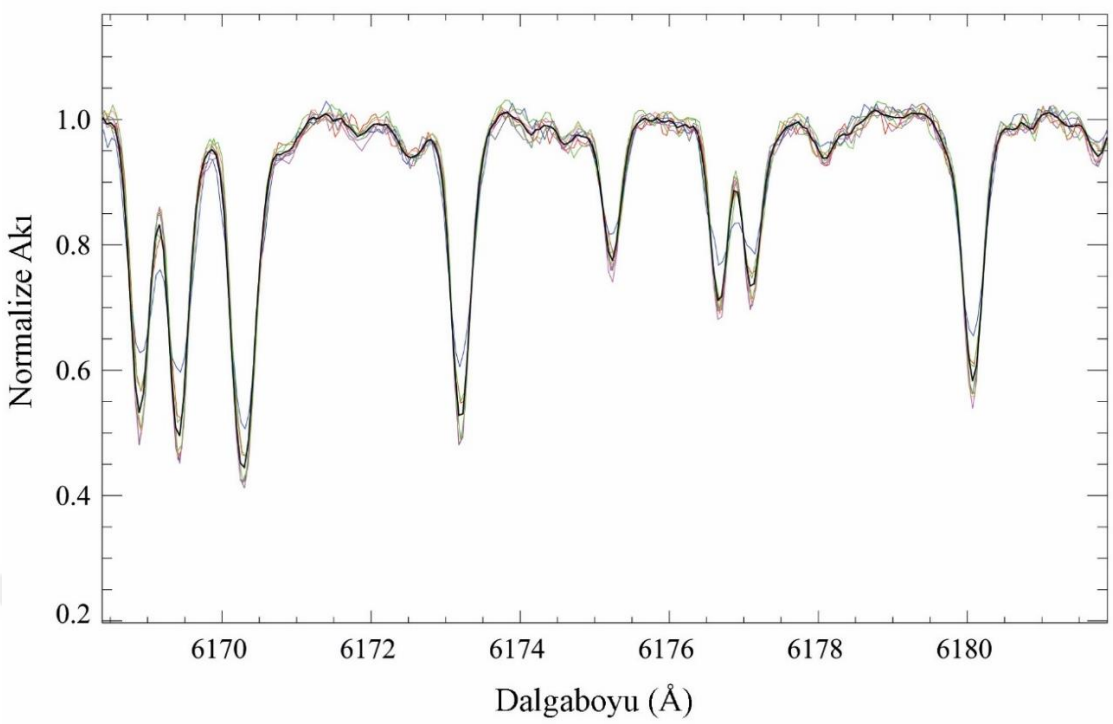
Facility) (Tody 1986, 1993) kullanılarak gerçekleştirildi. Tayfsal verilerin indirgenmesinde standart indirgeme rutinleri kullanıldı.

Öncelikle, yıldız tayflarından aletsel etkinin ortadan kaldırılması amacıyla bias ve dark düzeltmesi yapıldı. Aynı düzeltme işlemleri Th-Ar ve flat (düz alan) görüntüleri için de uygulandı. Flat düzeltmesi yapıldıktan sonra saçılmış ışık etkisi tayflardan çıkarıldı. Son indirgeme adımı olarak tayfarın akı dağılımının dalgaboyuna karşılık gelecek biçimde çizdirilmesi, yani verilere dalgaboyu bilgisinin eklenmesi gerçekleştirildi. Bu adıma dalgaboyu kalibrasyonu adı verilir ve dalgaboyları bilinen, belirli konumlarda çizgilere sahip standart lamba tayfları (Th-Ar gibi) kullanılarak yapılır. Yıldız tayflarının Doppler düzeltmesi ve radyal hız düzeltmeleri IRAF ile indirgeme aşamasının sonunda yapıldı.

İndirgeme aşamasından sonra her bir yıldız için 4700-6770 Å aralığında 22 adet tayf basamağı (bunlar eşel basamak olarak adlandırılır) elde edildi. Her bir eşel basamağın süreklilik seviyeleri belirlenerek tayflar bu seviyelere göre normalize edildi. Her bir tayfın normalizasyon işlemleri IDL[2] (Interactive Data Language) yazılım paketi kullanılarak hazırlanan normalizasyon kodu ile gerçekleştirildi.

Son olarak aynı yıldız için alınan tüm normalize tayflar birleştirerek (üst üste toplanarak) (ing. co-addition), yüksek sinyal-gürültü (ing. Signal/Noise, S/N) oranına sahip tek bir tayfa dönüştürüldü (Şekil 3.1).

[2] https://www.nv5geospatialsoftware.com/Products/IDL



Şekil 3.1 HD 16028 yıldızına ait birleştirme işleminden bir örnek. Renkli olarak çizdirilen tayflar farklı zamanlarda alınan tayfları, siyah tayf ise birleştirme işlemi sonucunda elde edilen yüksek S/N tayfını göstermektedir

İşlem sırasında, her yıldıza ait en yüksek S/N oranına sahip tayf referans alınmış ve interpolasyon yöntemiyle diğer tayflar bu referansa göre hizalanmıştır. Tayfların co-add işleminden öncesinde ve sonrasından her bir görüntü için S/N oranları tayfta yedi farklı dalgaboyu aralığı seçilerek elde edildi. Bu bölgeler sırasıyla birinci bölge 4765-4865Å, ikinci bölge 4900-5000Å, üçüncü bölge 5050-5150Å, dördüncü bölge 5370-5480Å, beşinci bölge 5640-5750Å, altıncı bölge 5940-6060Å ve yedinci bölge 6390-6500Å şeklindedir. Elde edilen S/N oranlarının ortalaması ve birleştirme sonrası elde edilen S/N oranları çizelge 3.7'de verilmektedir.

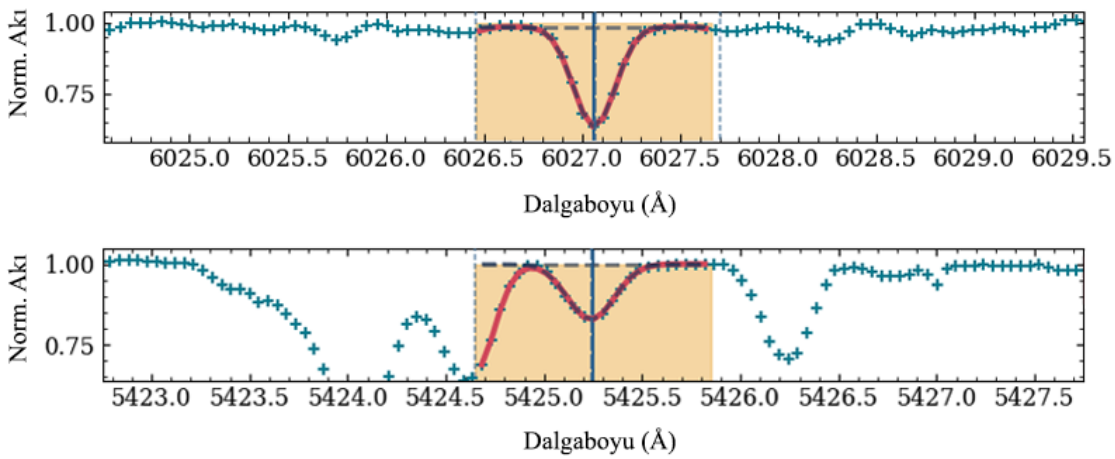
Çizelge 3.7 Tayfsal verilerin S/N oranları

Yıldız	S/N	S/N (co-add)
HD 11844	110	323
HD 16028	183	589
HD 23049	158	448
HD 25350	97	256
HD 28171	151	407
HD 34190	116	292
HD 60935	151	374
HD 74653	134	291
HD 177697	80	212
HD 187734	95	256
HD 188484	104	285
HD 193090	97	248
HD 196345	135	436
HD 204603	109	292
HD 215705	92	273

3.5 Aday Yıldızların Eşdeğer Genişlik Ölçümü

Çalışmada yıldız parametrelerinin belirlenebilmesi için aday yıldızların tayflarındaki Fe I ve Fe II çizgileri için eşdeğer genişlik ölçümleri yapıldı. Bunun için ilk önce 4500-6500 Å dalgaboyu aralığı içinde yer alan Fe çizgilerinin dalgaboyunu, uyarılma potansiyelini ve osilatör şiddetini gösteren bir çizgi listesi hazırlandı. Belirtilen bu dalgaboyu aralığında toplamda 300 adet Fe çizgisi seçildi. Daha sonra bu çizgi listesi kullanılarak REvIEW[3] (Routine for Evaluating and Inspecting Equivalent Widths) (McKenzie vd. 2022) python kodu kullanılarak bu listedeki çizgilerin eşdeğer genişlikleri ölçüldü (Şekil 3.2).

[3] https://github.com/madeleine-mckenzie/REvIEW



Şekil 3.2 REvIEW kodu ile Fe I (üstte) ve Fe II (altta) çizgisi için yapılan örnek EW ölçümü. Grafikte düz olarak inen kesikli mavi çizgi, çizgi listesine göre çizginin konumunu ve yatay kesikli fit sürekliliğin yerini göstermektedir. Kırmızı fit ise çizgi profili için yapılan en iyi modeli temsil etmektedir

Bu kod, çizgilerin eşdeğer genişliklerini ölçmek için, çizginin olası konumlarını ve süreklilikten olan sapmalarını bir veya çoklu gauss fiti ile hesaplayarak ölçmektedir. REvIEW kodunda çizgi konumları, girdi olarak kullanılan çizgi listesindeki tahmin edilen konumdan ± 0.2 Å aralığında ve süreklilikten ± 0.02 kadar değişkenlik gösterecek şekilde belirlenmektedir. Aday yıldızlardaki örtüşmüş çizgilerin de hesaba katılması için, uyumlanan 1.2 Å genişliğindeki pencerede en fazla dört çizgiyi temsil edebilecek Gauss profil çizgisi yerleştirilmiştir. REvIEW kodunda eşdeğer genişlik ölçümülerinin doğrulanması için FFNN (FeedForward Neural Network) adında bir yapay zekâ modeli kullanılmaktadır. Bu yapay zekâ modeli, verilen verilerle "öğrenerek" doğruluğu arttırmaya çalışmaktadır. Ölçümler için kullanılan interpolasyon, farklı piksel boyutları ve FWHM (ing. Full Width at Half Maximum) gibi farklılıkları hesaba katılması için kullanılmaktadır. İnterpolasyon işleminde kullanılan fonskiyonun ölçümlerin belirlenmesinde istatiksel bir etkiye sahip olmadığı da McKenzie vd. nin (2022) çalışmasında vurgulanmaktadır.

Çalışma kapsamında REvIEW ile hesaplanan eşdeğer genişlik ölçümlerinde örtüşmemiş temiz çizgiler seçildi. Her bir yıldız için ölçülen EW değerleri Ek 2'de verilmektedir.

3.6 Aday Yıldızların Parametrelerinin Belirlenmesi

3.6.1 SED analizi ile parametre hesabı

Bu çalışma kapsamında aday yıldızların başlangıç parametre değerlerini elde edebilmek amacıyla adayların tayfsal enerji dağılımları (SED) elde edildi. Bu enerji dağılımlarının belirlenmesi ve parametre hesaplamaları için ARIADNE[4] (spectr**A**l ene**R**gy d**I**stribution b**A**yesian mo**D**el averagi**N**g fitt**E**r) kodu kullanıldı (Vines ve Jenkins 2022).

ARIADNE kodu, çeşitli atmosfer modellerini kullanarak yıldızların SED'lerine otomatik uyumlama yapmaktadır. Bu uyumlama sonucunda etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi (logg), metal bolluğu ([Fe/H]) uzaklık (d), yarıçap (R), kütle (M) ve V bandı soğurma (A_V) parametrelerleri elde edilmektedir. Bu kodu öne çıkaran en önemli özelliklerden biri, Bayes Model Ortalaması (BMA, ing. Bayesian Model Averaging) yöntemini kullanmasıdır. BMA, temel parametrelerin hesaplanmasında, parametreleri ve belirsizlikleri elde etmek için yalnızca tek bir model fiti değil aynı zamanda farklı modelleri de kullanan bir yaklaşımdır. Tek bir modele aşırı güvenmek yerine farklı modellerin seçimine, tahminine ve bunların birleşik tahminine izin verir. Böylece farklı yıldız atmosfer modellerinden gelen bilgileri birleştirerek her bir modelin potansiyel belirsizliklerini hesaba katar ve bir model ortalaması elde eder. Bununla birlikte modeller, veriler tarafından desteklenme olasılığına (posterior olasılığına) göre de ağırlıklandırılır. Bu da, verilere daha iyi uyum sağlayan modellere daha fazla önem verilmesini sağlar. Analitik veya sayısal yöntemlerle hesaplanması veya tahmin edilmesi zor olan modeller için de oldukça kullanışlı olan BMA yöntemi, ARIADNE kodu içerisinde SED fitlerinin uyarlamasında önemli bir rol oynar. Bu sayede ARIADNE ile tek bir modelle çalışan yöntemlere kıyasla daha güvenilir ve doğru sonuçlar elde edilir.

Kodun genel algoritması Gaia (Gaia Collaboration 2018, 2023) katalog verileriyle başlar ve girdi olarak Gaia koordinatları ve Gaia kimliği kullanılır. Bu girdiler ile yıldızın etkin

[4] https://github.com/jvines/astroARIADNE

sıcaklığı (T_{eff}) Gaia kataloğundan sorgulanır. Bu sıcaklık bilgisi, uygun modelin seçilmesi için kullanılır. Gaia'nın diğer kataloglarla bağlantılı verileri sorgulanır ve eğer yıldız bu kataloglardan birinde varsa, ilgili kimlik bilgileri alınır. Bu kimlik bilgileri kullanılarak çeşitli kataloglardan (TESS (Ricker vd. 2015), APASS (Henden ve Munari 2014), 2MASS (Skrutskie vd. 2006), WISE (Wright vd. 2010) gibi) otomatik olarak yıldızın fotometrik bilgilerini ve hata değerlerini alır. Veriler toplanırken, kullanılan katalogların mevcut olan kalite kontrol göstergeleri de (ing. flag) kontrol edilir ve düşük olanlar elenir. Bu fotometrik veriler ile SED eğrileri oluşturulur ve sonrasında fit edilir. Bu SED uyumlaması aşağıda verilen formül 3.1'de gösterildiği üzere, 6 farklı parametre ile modellenerek yapılmaktadır. Bu modelleme işlemi etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi (logg), metal bolluğu ([Fe/H]) ve gözlemsel koşullardan kaynaklanan bazı belirsizlikleri içeren fotometrik ölçüm gürültüleri dahil edilmiştir. Ayrıca bu parametrelere ek olarak η sayıda fotometri ölçümü varsa, her bir ölçüm için eklenmiş rastgele veya sistematik hataları temsil eden bir parametre daha eklenir.

$$SF = 10^{-0.4A_i}.S\left(T_{eff}, log\mathrm{g}, [Fe/H]\right).\left(\frac{R}{d}\right)^2 + \epsilon_i \tag{3.1}$$

$$\epsilon_{\mathrm{i}}^2 = \sigma_{\mathrm{m,i}}^2 + \sigma_{\mathrm{e,i}}^2 \tag{3.2}$$

Burada SF; modelin ürettiği teorik akıyı gözlemlenen akıya uydurmak için kullanılan ölçekleme çarpanıdır. S; T_{eff}, log$g$ ve [Fe/H] uzayında ara değer hesaplamasının yapıldığı model gridi ifade eder. ϵ_i her i tane fotometri ölçümünün gürültü modelini ifade etmektedir. İkinci denklemde, $\sigma_{m,i}$ fotometrik gözlemlerin ölçüm hatasını, $\sigma_{e,i}$ ilgili gözlemin ek gürültüsünü ifade eder. Kullanılan akı değerlerinden gözlenen akıları elde etmek için normalizasyon faktörü $(R/d)^2$ ile çarpılmaktadır. Burada R yıldız yarıçapı, d ise yıldızın uzaklığıdır. Ayrıca A_i her bir fotometrik verinin yıldızlararası soğurma katsayısını ifade etmektedir. Hesaplanan yıldızlararası V bandında sönümleme değeri (A_V) geleneksel olarak kullanılan toplam seçimli sönümleme oranı (R_V) yardımıyla elde edilmektedir (Cardelli vd. 1989). Bu oran;

$$R_V = A_V / E(B-V) \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifadede R_V katsayısı kod içinde 3.1 olarak alınmıştır. Bu yaklaşımın yanı sıra bu soğurma oranı için O'Donnell (1994), Calzetti (2001), Fitzpatrick (1999) çalışmalarından da üç farklı model ARIADNE kodunun içine dahil edilmiştir. Bununla birlikte renk artıkları (*E(B-V)*) SFD galaktik toz haritalarından (Schlegel vd. 1998, Schlafly ve Finkbeiner 2011) elde edilmektedir.

Analiz sırasında kullanıcı tercih ederse yıldızların hesaplanan parametreleri için başlangıç değerleri de kullanabilmektedir. Bu başlangıç değerleri tercih edilmediğinde yani serbest bırakıldığında, kod önceden hesaplanmış değerler sağlamaktadır. Örneğin log*g* değerleri için MIST (Morton 2015, Dotter 2016) izokronları kullanılır. Serbest bırakılan parametreler ampirik olarak belirlenmiştir ve Kunder vd. nin (2017) yaptığı RAVE'ye (Radyal Hız Deneyi) dayanır. Yıldızın atmosferine uygun modeller, ayrı ayrı ve bağımsız biçimde analiz edilerek en uygun değerler belirlenir. Bu en iyi uyumu sağlayan parametreler, olasılık dağılımının yoğunluk tahmini ile hesaplanır. Belirsizlikler, %68 güven aralığında en yüksek yoğunluklu bölgeden hesaplanır.

Bu çalışmada aday yıldızlarımız için öncü değerler olarak, tayf türü ve ışınım sınıfına göre ortalama bir sıcaklık ile log*g* değerleri benimsendi.

Kod yukarıdaki temel SED formülasyonunu (Formül 3.1) kullanırken, altı farklı yıldız atmosfer modeli ile modelleme yapmaktadır. Bu modeller PHOENIX v2 (Husser vd. 2013), BT-Settl (Allard vd. 2012), BT-NextGen (Hauschildt vd. 1999, Allard vd. 2012), BT-Cond (Allard vd. 2012), Castelli & Kurucz (Castelli ve Kurucz 2003) ve Kurucz (Kurucz 1993)'dur. Her bir model, yıldızın atmosferik koşullarına göre tayfsal enerji dağılımını şekillendirir ve bu teorik modeller, yukarıdaki fiziksel formülasyonların bir sonucu olarak üretilir.

Çalışmada aday yıldızların tayf türüne uygun olarak kullanılan yıldız atmosfer modelleri sırasıyla Phoenix v2, Castelli & Kurucz, BT-Settl ve Kurucz modelleridir. Modellere ait limitler çizelge 3.8' de verilmektedir.

Çizelge 3.8 SED atmosfer modelleri ve limitleri

Model	**T_{eff}**	**log*g***	**[Fe/H]**
Phoenix v2	[2300, 12000]	[0.0, 6.0]	[-2.0, 1.0]
BT-Settl	[2300, 12000]	[-0.5, 6.0]	[-1.0, 0.5]
Castelli & Kurucz	[3500, 12000]	[0.0, 5.0]	[-2.5, 0.5]
Kurucz	[3500, 12000]	[0.0, 5.0]	[-1.0, 1.0]

Çalışmada 15 aday yıldızın SED uyumlamalarından T_{eff}, log*g*, [Fe/H], R, d ve A_V parametreleri elde edildi. Bu parametrelere ilişkin bilgiler Bölüm 4'te verildi.

3.6.2 LOTUS programı ile atmosfer parametrelerinin hesabı

Çalışmada aday yıldızların atmosferik parametrelerinin hesaplanması için LOTUS[5] (A (non-) LTE Optimization Tool for Uniform derivation of Stellar atmospheric parameters) kodu kullanıldı (Li ve Ezzeddine 2023). Bu kod F, G ve K tayf türünden yıldızların T_{eff}, log*g*, [Fe/H] ve mikro-türbülans hızı (υ_{mic}) parametrelerinin hesaplanması için geliştirilmiş iki aşamalı bir python kodundan oluşmaktadır. LOTUS, analiz edilecek yıldızların tayflarından belirlenen Fe I ve Fe II çizgilerinin eşdeğer genişlik ölçümlerine ihtiyaç duyar. Programın analiz için bir girdi dosyası oluşturulur ve bu dosyada ilgili elementin dalgaboyu (Å), kullanılan element adı (Örneğin Fe), iyonlaşma durumu (nötür veya iyonize), ölçülen EW (mÅ) ve uyarılma potansiyeli enerjisi (eV) gibi bilgiler yer almaktadır.

LOTUS, yıldız parametrelerini iki aşamalı bir süreçle belirler. İlk olarak, Fe I ve Fe II çizgilerinin bollukları hesaplanır. Bu işlem isteğe bağlı olarak hem LTE (Yerel Termodinamik Denge) hem de NLTE (Yerel Olmayan Termodinamik Denge) koşulları

[5] https://github.com/Li-Yangyang/LOTUS

altında genelleştirilmiş bir büyüme eğrisi (GCOG) kullanarak gerçekleştirir. Normalde COG yöntemi, belirli bir çizgi genişliği (EW) ölçülerek bir elementin bolluğunu belirler. Bu yöntemde T_{eff}, logg ve υ_{mic} gibi yıldızın atmosferine ait bazı diğer önemli parametreler sabit kabul edilir ve basit modeller oluşturutlur. Ancak GCOG, geleneksel büyüme eğrisi (COG) yönteminden farklı olarak, yıldız atmosferine ait parametreleri geniş bir aralıkta değişken olarak değerlendirir. Çünkü ölçülen EW, belirli bir parametre uzayında birden fazla yıldız parametresine bağımlı olabilmektedir. Dolayısıyla bu türden bağımlılıkların hem bolluk hem de yıldız parametrelerinin türetilmesindeki etkisini hesaba katabilmek için GCOG yöntemi kullanılır. Bu yöntem, EW ölçümlerini polinom fonksiyonlarla ifade eden sürekli bir model oluşturur ve böylece parametrelerin daha hassas bir şekilde belirlenmesini sağlar. GCOG, Fe I ve Fe II çizgileri için önceden hesaplanmış bir kütüphaneden alınan verilere dayanarak bir optimizasyon yapar ve demir bolluğunu belirler. Bu demir bolluğu ile parametreler arasındaki ilişkiyi Li ve Ezzeddine (2023) çalışmasında aşağıdaki eşitlikle ifade etmektedir.

$$A(\mathrm{Fe}) = \mathrm{P}\ (\mathrm{T_{eff}}, \mathrm{logg}, \upsilon_{mic}, \mathrm{EW}) \tag{3.4}$$

Burada P, yıldız parametreleri için oluşturuluan polinom fonksiyonunu ifade etmektedir. Sonuç olarak GCOG yöntemi daha fazla parametreyi dikkate aldığı için, demir bolluğunu belirlemede geleneksel yöntemlerden daha hassas sonuçlar verir. Yıldız parametreleri, interpolasyonlu çok değişkenli polinomlarla ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC, ing Bayesian Information Criteria) kullanılarak optimize edilir. Bu sayede, hedef yıldızın tayf türüne uygun çizgi listeleri ve belirleyici limit değerleri seçilerek en doğru parametreler türetilir.

Fe I ve Fe II çizgilerinden elde edilen demir bollukları ve aday yıldız için başlangıç parametreleri girdi olarak belirlendikten sonra, artık yalnızca yıldızın tayf türü için tahmini bir başlangıç belirlenmesi gereklidir. GCOG' lardan çok değişkenli polinomlar türetilirken, farklı tayf türünden adaylar için farklı çizgi listeleri kullanılacağından, bu çok değişkenli polinom hesaplamaları tayf türüne bağlı değişim göstermektedir. Bu nedenle analizi yapılan adaylar için geniş bir parametre uzayında interpolasyon yapması

yerine kullanıcıdan bazı değişkenlerin girilmesi beklenmektedir. Belirli bir aralıkta olması beklenen bu değişkenler, yıldızların tayf türü, ışınım sınıfı ve metal bolluğu seçimine dayanır. Bu değişikenler ve aralık değerleri çizelge 3.9'da verilmektedir.

İkinci aşamada, hesaplanan bolluk değerleri kullanılarak yıldız atmosfer parametreleri iterasyonla belirlenir. Kodun bu ikinci aşamasında Fe I çizgilerinden üretilen bolluklar yüksek uyarılma potansiyeline sahip çizgilerden (Fe II) daha yüksek olması durumunda, Fe I çizgileri için düşük uyarılma potansiyeli kesmeleri uygulanır. Bu kesme faktörü kod içinde kullanıcı tarafından belirlenir. Bu kesme faktörü metal bolluğuna bağlı bir parametredir ve Li ve Ezzeddine (2023) bu parametre için belirli değerler önermektedir. Bu aralıklar metalce zengin yıldızlar için "0", metalce fakir yıldızlar için "1.2" ve metalce çok fakir yıldızlar için "2.0 veya 2.7" değerleridir.

Çizelge 3.9 LOTUS'da farklı yıldız türleri için belirlenen limitler

Yıldız Parametresi	Türü	Aralıklar
Teff (K)	K	[4000, 5200]
	G	[5200, 6000]
	F	[6000, 6800]
logg	süperdev	[0.0, 0.5]
	dev	[0.5, 3.0]
	altdev	[3.0, 4.0]
	cüce	[4.0, 5.0]
[Fe/H]	metalce çok fakir	[-3.5, -2.0]
	metalce fakir	[-2.0, -0.5]
	metalce zengin	[-0.5, 0.5]

Yıldız parametrelerinin iteratif olarak optimizasyon sürecinin temel ilkesi bazı koşulları sağlayan en iyi parametre setini elde etmektir. Bu koşullar sırasıyla

- Uyarılma dengesi sağlamak, yani Fe I bolluklarının uyarılma potansiyeline bağlı eğilimlerini minimize etmektir.
- İyonizasyon dengesini sağlamak, yani Fe I ve Fe II bollukları arasındaki farkları en aza indirmektir.

- Fe I çizgileri ile indirgenmiş eşdeğer genişlikler (ing. reduced equivalent widths, (REW= log(EW/λ)) arasındaki eğimi minimize etmektir.

Böylece, uyarılma dengesini sağlayarak T_{eff}, iyonizasyon dengesini sağlayarak logg, REW ile Fe bollukları arasındaki eğimin minimize edilmesiyle υ_{mic} ve son olarak; Fe I ve Fe II çizgilerinden türetilen bollukların ortalaması alınarak [Fe/H] değerleri belirlenir. Bu süreçte, uyarılma ve iyonlaşma dengesi sağlanacak şekilde bir küresel minimizasyon yöntemi uygulanır. Hesaplanan parametrelerin belirsizlikleri ise Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC) algoritmasıyla tahmin edilir.

Programda geç tayf türünden yıldızların atmosferlerinin fiziksel yapısını modellemek için yaygın olarak kullanılan ve T_{eff}, logg, [Fe/H] ve υ_{mic} gibi parametrelerin farklı değerleri için atmosfer katmanları içeren 1D, LTE MARCS[6] (Gustafsson vd. 1975, 2008) yıldız atmosfer modeli kullanılmaktadır. Bu yıldız atmosfer modeli için gridler T_{eff} için 250 K, logg için 0.5 cgs ve [Fe/H] için 0.25-0.50 dex adımlarla oluşmaktadır. Ancak model için kullanılan bu grid aralıkları çözünürlüğün arttırılması amacıyla ayrıca bir interpolasyon sürecine daha tabi tutulur. Bu süreçte adım aralıklarındaki eksik grid verilerini oluşturmak için bir interpolasyon paketi (iterpol_marcs.f [7]) kullanılmaktadır. Böylece MARCS model atmosferinin sahip olduğu grid aralıklarındaki eksik veriler oluşturularak daha yüksek çözünürlükte bir grid elde edilmektedir. İnterpolasyon sonrası, T_{eff} için 50K, logg için 0.1 cgs, [Fe/H] için 0.5 dex ve υ_{mic} için 0.5 km/s olacak şekilde gridler oluşturulmuştur. Programda logg için (< 3.5 ise) küresel atmosferik modeller kullanılırken, genel olarak düzlem-paralel modeller kullanılmaktadır.

Kod NLTE hesaplamaları için hem ışınım hem de çarpışma süreçlerini içeren güncel ve ayrıntılı bir demir atom modeli kullanmaktadır. Programda benimsenen atom modeli 1000 - 10^5Å dalgaboyu aralığında sahip yakın-ultraviyole (UV) bölgeden yakın-kızılötesi (IR) bölgeyi kapsamaktadır. Hesaplamalar Yaklaşık Lamda İterasyonu (ALI, ing.

[6] https://marcs.astro.uu.se/
[7] https://marcs.astro.uu.se/software.html

Approximate Lambda Iteration) (Rybicki ve Hummer 1991) metodunu temel alan MULTI2.3 kodu ile hesaplanmaktadır (Li ve Ezzeddine 2023). Böylece bu metod ile bir atomdaki ışınım geçişlerini ve çarpışmaları hesaba katarak popülasyon dağılımı yapılmaktadır.

Çalışmada 15 aday yıldızın LOTUS ile ilk olarak Fe I ve Fe II çizgilerinden ölçülen EW değerlerinden yola çıkarak bolluk hesabı yapıldı. Analizde EW değerleri 150 mÅ'dan büyük olan çizgi genişlikleri analize dahil edilmedi. Bunun başlıca sebebi, kullanılan çizgilerin seçiminde çizgi genişliği arttıkça olabilecek örtüşmüş çizgilerden kaynaklı hatalı EW ölçümlerinden kaçınmaktır. Bu aşamadan sonra yıldızın tayf türüne ve ışınım sınıfına göre kullanılacak çizgi sayısı, tayf türü ve model türü (Çizelge 3.9) belirlendi. Hesaplamalarda her bir yıldız için gerekli olan başlangıç parametreleri (T_{eff}, logg, [Fe/H]) SED analiz sonuçlarından elde edildi. Her yıldız için analiz esnasında dikkate alınan tayf türü, metal bolluğu, kullanılan EW ölçüm sayısı (N_{EW}), kullanılan toplam Fe çizgi sayısı (N_{Fe}) ve Fe II çizgi sayısı (N_{FeII}) çizelge 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.10 LOTUS programı ile aday yıldızların analizleri sırasında kullanılan başlangıç parametre bilgileri

Tayf Türü	**Yıldız**	**N_{EW}**	**N_{Fe}**	**N_{FeII}**	**Tür**	**Metal Bolluğu**
K5	HD 11844	109	70	10	K III	Metalce zengin
K4 III	HD 16028	145	93	12	K III	Metalce zengin
K4 III	HD 23049	118	77	10	K III	Metalce zengin
K0	HD 25350	70	43	8	K III	Metalce zengin
G5	HD 28171	186	114	14	K III	Metalce zengin
K3 III	HD 34190	121	75	12	K III	Metalce zengin
G5	HD 60935	160	97	15	K III	Metalce zengin
K5/6	HD 74653	127	79	10	K III	Metalce zengin
K5	HD 177697	75	43	8	-	-
K2/3 III	HD 187734	84	48	8	K III	Metalce zengin
K0	HD 188484	106	69	9	K III	Metalce zengin
K5 III	HD 193090	124	71	8	K III	Metalce zengin
K2/3 III	HD 196345	140	86	14	K III	Metalce zengin
K0	HD 204603	152	98	14	K III	Metalce zengin
K5	HD 215705	111	70	11	K III	Metalce zengin

Çizelgede verilen bu parametreler yardımıyla aday yıldızların nihai parametre hesabı için kodun ikinci aşaması kullanıldı. Bu aşamada, kullanılan kesme faktörü, metalce zengin yıldızlar için programın önerdiği üzere "0" değeri olarak girildi. Hesaplamaların her iki adımında da NLTE radyatif transfer modeli benimsendi. Analizler sonucunda yıldızların etkin sıcaklıkları (T_{eff}), yüzey çekim ivmeleri (logg), metal bolluk değerleri [Fe/H] ve mikrotürbülans hızları (υ_{mic}) belirlenmiş oldu.

3.7 Aday Yıldızların Mutlak Parametrelerinin Hesabı

Tez çalışmasının amaçlarından biri de aday yıldızlar için yarıçap (R) ve kütle (M) değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu parametrelerin hesaplanmasında bolometrik parlaklık, etkin sıcaklık ve uzaklık bilgileri kullanıldı. Bu parametreler aday yıldızların evrimsel durumlarını anlamak ve potansiyel yaşanabilir bölgelerini hesaplamak için kritik rol oynamaktadır.

Standart uzaklık modülü ile yıldızlara ait mutlak parlaklıklar (M_V);

$$M_V = m_V + 5\log\pi + 5 - \mathrm{A_v} \tag{3.5}$$

formülü ile elde edilmektedir. Buradan bolometrik parlaklığa (M_{bol});

$$BD = M_{bol} - M_V \tag{3.6}$$

formülü ile geçiş yapılabilmektedir. BD; bolometrik düzeltmedir ve yıldızın sıcaklığına bağlıdır. Bu katsayıyı elde etmek için tayf türlerine göre çalışılmış düzeltme tabloları kullanılmaktadır. Bu çalışmada da bolometrik düzeltme değerleri Eker vd. (2018) yaptığı çalışmadan yola çıkılarak hesaplandı. Daha sonra aday yıldızların bolometrik parlaklıkları formül 3.7 ve hatası formül 3.8 (Eker vd. 2020) ile hesaplandı.

$$\mathrm{M_{bol}} = \mathrm{m}_V + \mathrm{BD} + 5\log\pi + 5 - \mathrm{A_v} \tag{3.7}$$

$$\sigma_{\mathrm{M_{bol}}} = \sqrt{\sigma_{m_V}^2 + (5 \log e \frac{\sigma_\pi}{\pi})^2 + \sigma_{A_V}^2} \quad (3.8)$$

Burada aday yıldızlar için paralaks ve hata bilgileri Gaia'nın üçüncü veri yayını (GDR3) kataloğundan (Gaia Collaboration 2023) V bandı parlaklıkları ise SIMBAD Astronomik Veri Tabanı'ndan (Wenger vd. 2000) elde edildi. Yıldızlara ait kızarma miktarı (A_v) çalışma kapsamında yapılan SED analizi ile hesaplandı. Bolometrik parlaklıklar elde edildikten sonra logaritmik olarak ışınım güçleri hesaplandı. Bunun için formül 3.9 ve hataları için formül 3.10 kullanıldı (Valenti ve Fischer 2005).

$$\log(\frac{L_*}{L_\odot}) = -0.4(M_{bol} - M_{bol\odot}) \quad (3.9)$$

Burada $M_{bol\odot}$; Güneş'in bolometrik parlaklığı ve değeri +4.74'dir (Eker vd. 2018).

$$\sigma_{\mathrm{logL}} = 0.921 \sqrt{\sigma_V^2 + (\frac{2.171\sigma_\pi}{\pi})^2} \quad (3.10)$$

Bu aşamadan sonra aday yıldızlar için yarıçap ve kütle hesaplamalarına geçildi. İlk olarak R değerleri ve hataları formül 3.11-3.12 kullanılarak hesaplandı (Valenti ve Fischer 2005).

$$\frac{R_*}{R_\odot} = \sqrt{\frac{L_*}{L_\odot}} \left(\frac{T_\odot}{T_{eff}}\right)_2 \quad (3.11)$$

$$\sigma_{\mathrm{R}} = \mathrm{R} \sqrt{(\frac{\sigma_L}{2L})^2 + (\frac{2\sigma_T}{T_{eff}})^2} \quad (3.12)$$

Burada Güneş'in etkin sıcaklığı $T_\odot$ = 5770 K (Valenti ve Fischer 2005) olarak alındı. Yıldızlar için T_{eff} değerleri olarak LOTUS ile hesaplanan sıcaklık değerleri alındı. Aynı şekilde yıldızlar için kütle değerleri ve hataları ise;

$$\frac{M_*}{M_\odot} = (\frac{R_*}{R_\odot})^2\ 10^{logg-\log g\ \odot} \quad (3.13)$$

$$\sigma_M = M\sqrt{(\frac{\sigma_{logg}}{logg})^2 + (\frac{2\sigma_R}{R})^2} \quad (3.14)$$

formülü ile hesaplandı (Valenti ve Fischer 2005). Burada Güneş için $\log g_\odot$ = 4.437 cgs^{-2} olarak alındı (Valenti ve Fischer 2005).

Hesaplamalar sonucunda aday yıldızların elde edilen tüm mutlak parametreleri Bölüm 4'te verildi.

3.8 Aday Yıldızların Yaşanabilir Bölge Sınırlarının Hesabı

Çalışma kapsamında, aday yıldızların atmosfer ve mutlak parametreleri belirlendikten sonra, yaşanabilir bölgeleri (YB) Kopparapu vd.nin (2013a, 2013b) yöntemine göre hesaplandı. Bu yöntemde, Dünya benzeri bir gezegenin atmosferine ulaşan yıldız akısı ile yıldızın etkin sıcaklığı arasındaki ilişki, polinom bir uyarlama ile modellenmiştir. Hesaplamalarda bu polinom uyarlaması olan denklem kullanıldı.

$$S_{eff} = S_{eff\odot} + aT_* + bT_*^2 + cT_*^3 + dT_*^4 \quad (3.15)$$

Burada, yıldızların etkin sıcaklık (T_{eff}) değerleri LOTUS ile elde edilen sonuçlara dayanmaktadır. Denklemdeki katsayılar (a, b, c, d) Kopparapu vd'nin (2013b) çalışmasında her bir YB sınırı için verilen değerlerden alındı.

Hesaplamaların ardından, yıldızların YB uzaklıkları astronomik birim (AB) cinsinden Kasting vd. nin (1993) önerdiği ve Kopparapu vd'nin (2013a) çalışmasında kullandığı uzaklık formülü 3.16 ile hesaplandı.

$$d = \left(\frac{L/L_{\odot}}{s_{eff}}\right)^{0.5} \quad (3.16)$$

Çalışmada incelenen aday yıldızların çoğunluğu geç tayf türü ve dev yıldızlardan oluştuğu için, bu yıldızların ana kol yıldızıyken yaşanabilir bölge sınırlarında meydana gelebilecek değişimler ayrıca analiz edilmiştir. Bu analizde, yıldızların H-R diyagramı üzerindeki konumlarına göre ana kol yıldızı statüsünde olduklarında sıcaklık, ışınım gücü ve kütle değerleri tahmin edilmiş ve yaşanabilir bölge sınırları hesaplanarak, python ile yazılan kod üzerinden çizdirildi. Elde edilen tüm yıldızların yaşanabilir bölge sınır değerlerine ilişkin çizelge ve şekiller, Bölüm 4'te verildi.

3.9 Yıldızların Evrim Yollarının Hesaplanması

Yıldızlar için kullanılan Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramı, yıldız evrimini anlamada önemli bir yere sahiptir. Bu diyagram yıldızın evrimsel aşamasını anlamak ve yaşam döngüsü hakkında yorum yapabilmemize olanak sağlar. Bunun için bu diyagram üzerinde yıldızların nerede bulunduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bir yıldızın H-R diyagramı üstündeki konumunu belirlemek için, sözkonusu yıldıza ait etkin sıcaklık (T_{eff}) ve toplam ışınım gücünün ($L/L_{\odot}$) bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında her bir yıldızın elde edilen T_{eff} ve $L/L_{\odot}$ parametreleri kullanılarak teorik H-R diyagramındaki konumları, IDL kodu yardımıyla belirlendi. Bu işlem, uygun kimyasal bolluk değeri (Z) için interpolasyon yöntemiyle elde edilmiş farklı kütle değerlerine ait teorik evrim yolları kullanılarak yapıldı. Bu teorik evrim yolları Girardi vd. (2000) tarafından hesaplanmış olup, 0.15 $M_{\odot}$ ile 7 $M_{\odot}$ başlangıç kütlelerini kapsamaktadır. Yıldızların evrim yollarının belirlenebilmesi için, yıldızlara ait Z değerileri;

$$[Fe/H] = log\, Z/Z_{\odot} \quad (3.17)$$

ifadesi kullanılarak hesaplandı. Hedef yıldızların hesaplanan Z değerlerinin ortalamasına göre, kod içinde Z =0.008 ile 0.03 olarak alıdı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Aday Yıldızların Atmosfer ve Mutlak Parametreleri

Çalışma kapsamında incelenen aday yıldızların mutlak ve atmosfer parametreleri tayfsal yolla ilk kez ayrıntılı olarak belirlendi. Bu amaçla yıldızların elde edilen parametre setleri aşağıda sırasıyla verildi. SED ile belirlenen parametreleri çizelge 4.1'de, LOTUS kodu ile elde edilen atmosfer parametre seti çizelge 4.2'de verilmektedir. Aynı zamanda yıldızların teorik olarak hesaplanan mutlak parametreleri de çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelgelerin ardından, her bir yıldız için hesaplanan SED uyumlamalarını, bu yıldızların belirlenen parametreleri arasındaki ilişkileri ve bireysel ortalama dağılımlarını gösteren grafikler de sunuldu.

Ardından LOTUS kodu kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, Fe I ve Fe II çizgilerine ait eşdeğer genişliklerin (EW), indirgenmiş eşdeğer genişlikler (REW) ve uyarılma potansiyeline (χ) göre türetilen bolluklarını ve hesaplanan parametrelerini gösteren grafikler verildi. Bu grafikler, yıldız tayfındaki Fe çizgilerinden türetilen bollukların, farklı demir iyonizasyon durumları, eşdeğer genişlikler ve uyarılma potansiyelleri ile nasıl ilişkili olduğunu detaylı şekilde ortaya koymaktadır. LOTUS yazılımı ile optimize edilen parametreler, aynı zamanda bu parametreler arasındaki olasılık dağılımlarını gösteren köşe (ing. corner) grafikleriyle görselleştirildi. Bunun yanı sıra, yıldız parametrelerinin optimizasyonu sırasında elde edilen en düşük hata değeri (en iyi uyum) ile element bazlı minimum değerler (ing. element-wise minimum) arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren doğrulama grafikleri sunuldu. Bu grafikler sayesinde, bulunan en iyi yıldız parametreleriyle hesaplanan amaç fonksiyonunun (optimizasyon sürecinde minimize veya maksimize edilmeye çalışılan matematiksel bir fonksiyon) her bir parametre için ayrı ayrı elde edilen minimum değerlere ne kadar yakın olduğu kontrol edilerek, optimizasyonun doğruluğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.1 SED analizi ile elde edilen yıldız parametreleri

Yıldız	T_{eff} (K)	log*g* (cgs)	[Fe/H] (dex)	A_V (mag)	d (pc)	R ($R_\odot$)
HD 11844	$3841^{+109.99}_{-55.20}$	$2.22^{+0.16}_{-0.14}$	$-0.06^{+0.17}_{-0.20}$	$1.29^{+0.23}_{-0.18}$	$257^{+13.154}_{-1.180}$	$64.69^{+4.516}_{-2.121}$
HD 16028	$4191^{+27.24}_{-35.71}$	$1.94^{+0.32}_{-0.21}$	$0.00^{+0.17}_{-0.12}$	$0.08^{+0.02}_{-0.03}$	$253^{+5.122}_{-5.192}$	$46.45^{+2.090}_{-1.084}$
HD 23049	$4033^{+99.50}_{-50.92}$	$1.74^{+0.19}_{-0.15}$	$-0.04^{+0.16}_{-0.15}$	$0.33^{+0.18}_{-0.08}$	$209^{+3.049}_{-0.926}$	$44.31^{+1.222}_{-1.414}$
HD 25350	$4425^{+203.80}_{-77.39}$	$1.77^{+0.13}_{-0.10}$	$-0.11^{+0.13}_{-0.14}$	$0.27^{+0.24}_{-0.11}$	$544^{+7.581}_{-4.888}$	$46.60^{+1.374}_{-1.873}$
HD 28171	$4686^{+49.01}_{-45.11}$	$2.00^{+0.25}_{-0.21}$	$-0.17^{+0.10}_{-0.09}$	$0.16^{+0.05}_{-0.04}$	$172^{+0.682}_{-0.370}$	$12.22^{+0.171}_{-0.200}$
HD 34190	$4471^{+156.07}_{-132.05}$	$1.99^{+0.06}_{-0.03}$	$-0.04^{+0.09}_{-0.10}$	$0.52^{+0.17}_{-0.12}$	$779^{+16.266}_{-7.404}$	$69.70^{+3.346}_{-2.804}$
HD 60935	$4416^{+40.17}_{-30.98}$	$1.85^{+0.22}_{-0.22}$	$-0.14^{+0.15}_{-0.11}$	$0.06^{+0.02}_{-0.02}$	$274^{+2.510}_{-1.410}$	$24.85^{+0.452}_{-0.664}$
HD 74653	$3838^{+34.05}_{-21.99}$	$1.48^{+0.33}_{-0.16}$	$-0.08^{+0.16}_{-0.17}$	$0.04^{+0.01}_{-0.02}$	$488^{+5.922}_{-2.060}$	$59.44^{+1.458}_{-1.815}$
HD 177697	$3640^{+22.86}_{-22.50}$	$1.01^{+0.05}_{-0.04}$	$0.04^{+0.13}_{-0.12}$	$0.35^{+0.02}_{-0.05}$	$463^{+3.469}_{-1.526}$	$83.62^{+2.045}_{-2.008}$
HD 187734	$4236^{+38.85}_{-42.49}$	$1.99^{+0.05}_{-0.06}$	$-0.06^{+0.12}_{-0.12}$	$0.44^{+0.04}_{-0.08}$	$673^{+9.137}_{-4.129}$	$96.74^{+1.077}_{-1.903}$
HD 188484	$3942^{+67.69}_{-38.15}$	$0.86^{+0.25}_{-0.17}$	$-0.02^{+0.11}_{-0.09}$	$0.30^{+0.14}_{-0.07}$	$338^{+2.860}_{-1.708}$	$59.87^{+1.606}_{-1.592}$
HD 193090	$4097^{+92.20}_{-51.77}$	$1.84^{+0.18}_{-0.20}$	$-0.03^{+0.13}_{-0.14}$	$0.33^{+0.14}_{-0.10}$	$315^{+2.490}_{-1.055}$	$37.81^{+1.141}_{-1.013}$
HD 196345	$4180^{+34.65}_{-30.09}$	$1.98^{+0.05}_{-0.05}$	$-0.01^{+0.11}_{-0.09}$	$0.15^{+0.03}_{-0.05}$	$240^{+1.579}_{-0.604}$	$30.12^{+0.524}_{-0.574}$
HD 204603	$4584^{+38.59}_{-34.58}$	$1.99^{+0.05}_{-0.05}$	$-0.08^{+0.10}_{-0.10}$	$0.09^{+0.03}_{-0.03}$	$192^{+1.167}_{-0.533}$	$18.46^{+0.294}_{-0.369}$
HD 215705	$4144^{+61.78}_{-67.51}$	$1.86^{+0.17}_{-0.19}$	$-0.02^{+0.17}_{-0.14}$	$0.35^{+0.10}_{-0.10}$	$232^{+1.954}_{-1.021}$	$35.27^{+0.775}_{-1.085}$

Çizelge 4.2 LOTUS kodu ile elde edilen atmosfer parametreleri

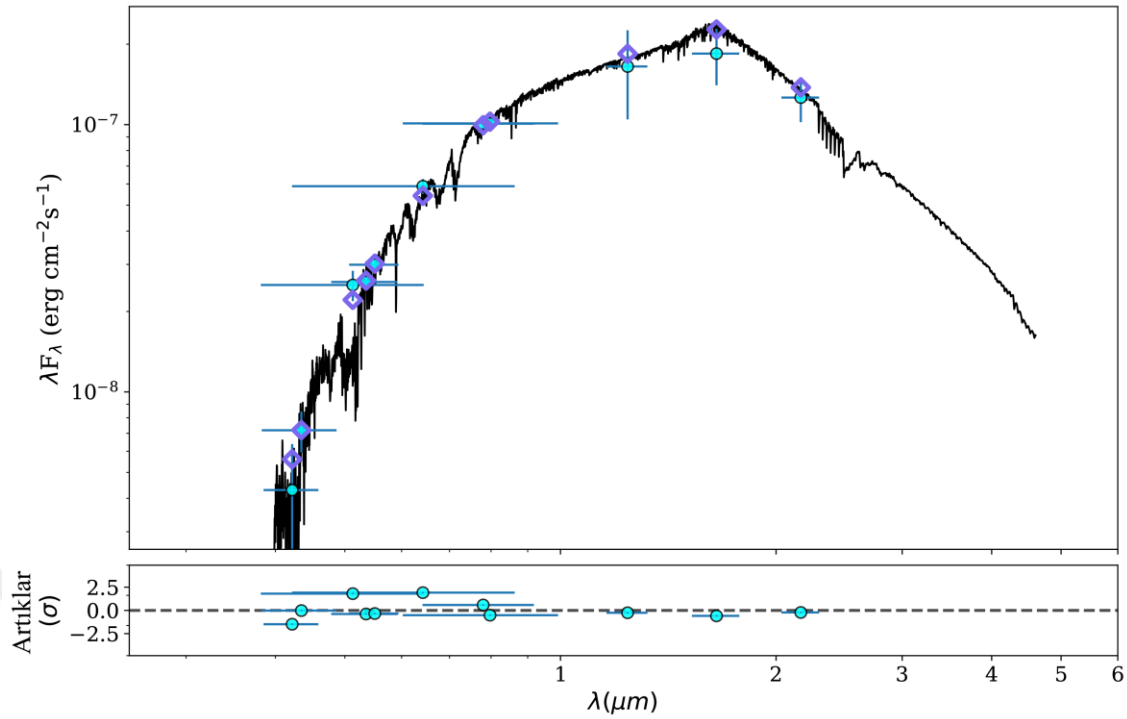
Yıldız	T_{eff} (K)	log$g$ (cgs)	[Fe/H] (dex)	υ_{mic} (kms^{-1})
HD 11844	4105 ± 98	1.95 ± 0.35	-0.27± 0.31	1.79 ± 0.05
HD 16028	4329 ± 73	1.96 ± 0.26	-0.28 ± 0.26	1.89 ± 0.03
HD 23049	4271 ± 106	1.79 ± 0.37	-0.26 ± 0.32	1.97 ± 0.04
HD 25350	4804 ± 91	1.73 ± 0.31	-0.16 ± 0.21	1.99 ± 0.06
HD 28171	4771 ± 50	2.53 ± 0.15	-0.24 ± 0.19	1.57 ± 0.02
HD 34190	4425 ± 96	1.77 ± 0.33	-0.20 ± 0.27	1.91 ± 0.04
HD 60935	4481 ± 55	2.35 ± 0.18	-0.06 ± 0.21	1.60 ± 0.02
HD 74653	4067 ±99	1.46 ± 0.38	-0.42 ± 0.32	1.73 ± 0.05
HD 187734	4217 ±123	1.38 ± 0.44	-0.26 ± 0.27	1.79 ± 0.05
HD 188484	4014 ± 123	1.21 ±0.45	-0.41 ±0.33	1.54 ± 0.08
HD 193090	4200 ± 135	1.82 ± 0.49	-0.45 ± 0.36	1.93 ± 0.07
HD 196345	4366 ± 85	2.22 ± 0.29	-0.21 ± 0.30	1.97 ± 0.03
HD 204603	4549 ±65	2.36 ± 0.21	-0.12 ± 0.25	1.52 ± 0.03
HD 215705	4305 ±132	1.73 ± 0.46	-0.48 ± 0.31	1.78 ± 0.07

Çizelge 4.3 Aday yıldızlar için hesaplanan mutlak parametreler

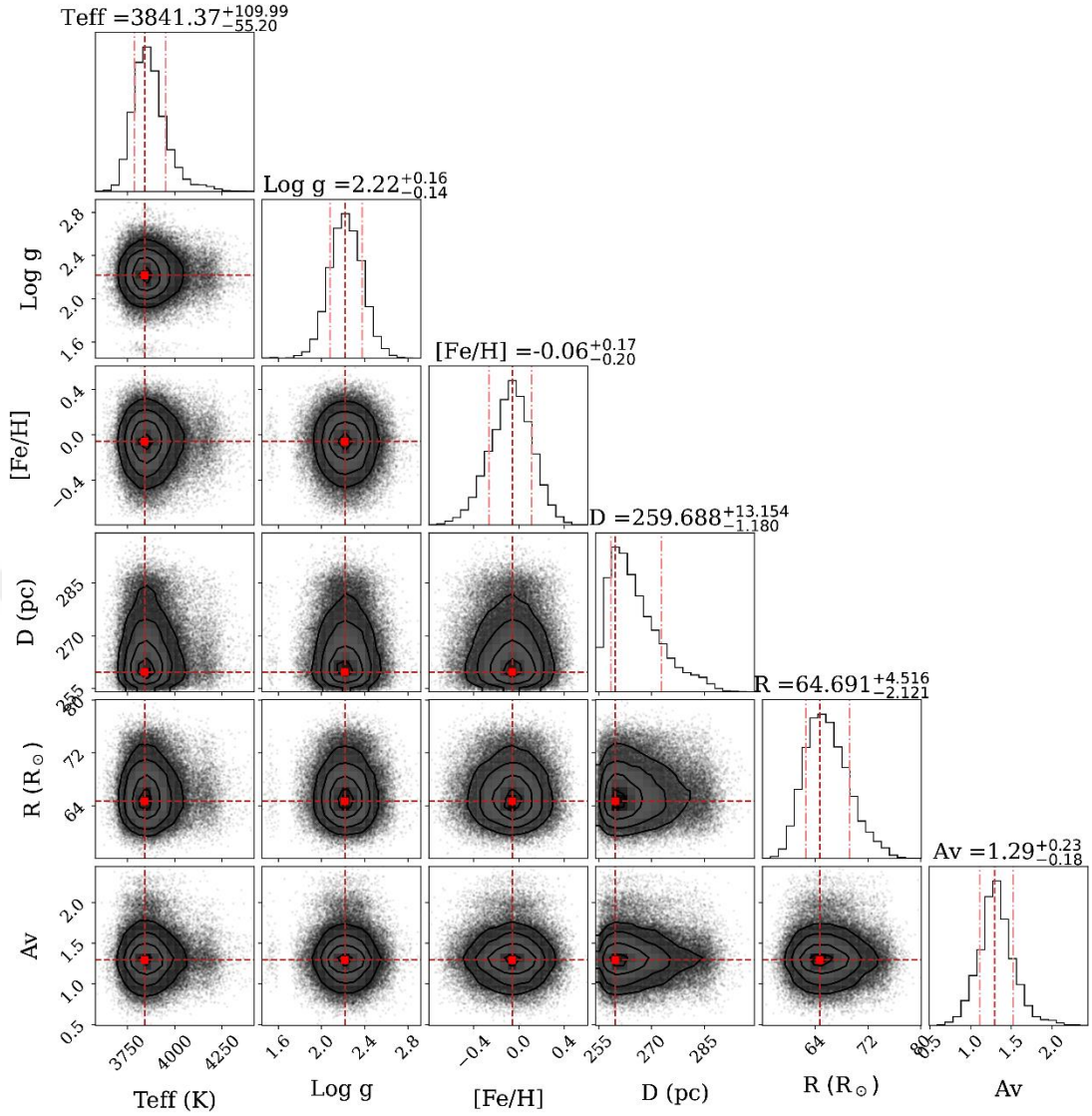
Yıldız	T_{eff} (K)	M ($M_\odot$)	R ($R_\odot$)	M_{bol}	Yaş (Gyıl)
HD 11844	4105 ± 98	5.99 ± 0.455	42.92 ± 1.12	-1.94 ± 0.21	0.162 ± 0.025
HD 16028	4329 ± 73	4.52 ± 0.335	36.86 ± 1.12	-1.84 ± 0.05	0.175 ±0.030
HD 23049	4271 ± 106	2.16 ± 0.128	31.01 ± 1.07	-1.41 ± 0.13	1.219 ± 0.458
HD 25350	4805 ± 91	1.97 ± 0.096	31.69 ± 1.12	-1.96 ± 0.18	0.248 ±0.037
HD 28171	4771 ± 50	1.22 ± 0.048	9.91 ± 0.77	0.59 ± 0.05	3.737 ± 2.196
HD 34190	4425 ± 96	8.63 ± 0.560	63.37 ± 1.10	-3.11 ± 0.15	0.104 ± 0.003
HD 60935	4481 ± 55	2.70 ± 0.205	18.18 ± 1.00	-0.45 ± 0.03	0.658 ± 0.253
HD 74653	4067 ± 99	1.69 ± 0.066	40.02 ± 1.07	-1.75 ± 0.03	1.762 ± 0.277
HD 187734	4217 ± 123	5.79 ± 0.456	81.32 ± 1.09	-3.44 ± 0.07	0.116 ± 0.015
HD 188484	4014 ± 123	0.69 ±0.002	34.20 ±1.04	-1.35 ± 0.11	13.248 ± 2.292
HD 193090	4200 ± 135	2.35 ± 0.175	31.20 ± 1.04	-1.35 ± 0.12	1.131 ± 0.408
HD 196345	4366 ± 85	3.18 ± 0.249	22.92 ± 1.01	-0.84 ± 0.04	0.674 ± 0.329
HD 204603	4549 ± 65	2.18 ± 0.150	16.15 ± 0.95	-0.26 ± 0.03	1.174 ± 0.405
HD 215705	4305 ±132	1.63 ± 0.079	28.83 ± 1.04	-1.28 ± 0.10	1.925 ± 0.716

4.1.1 HD 11844 yıldızının atmosfer parametreleri

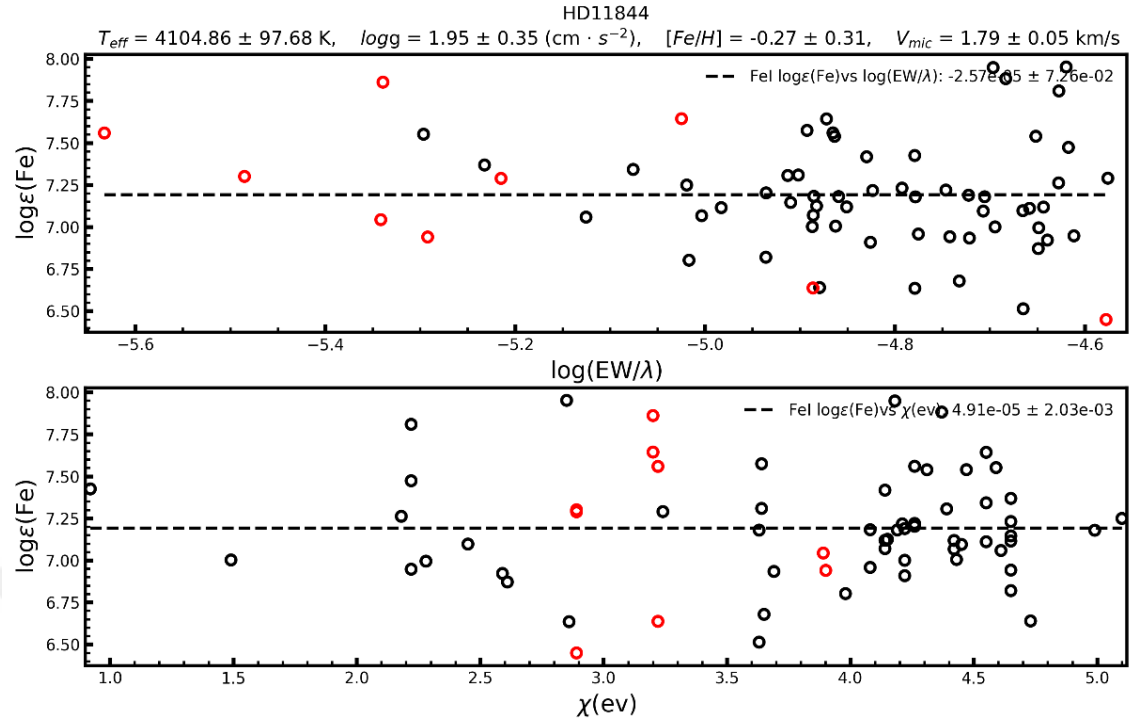
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.1 ve şekil 4.2'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'te sunuldu.



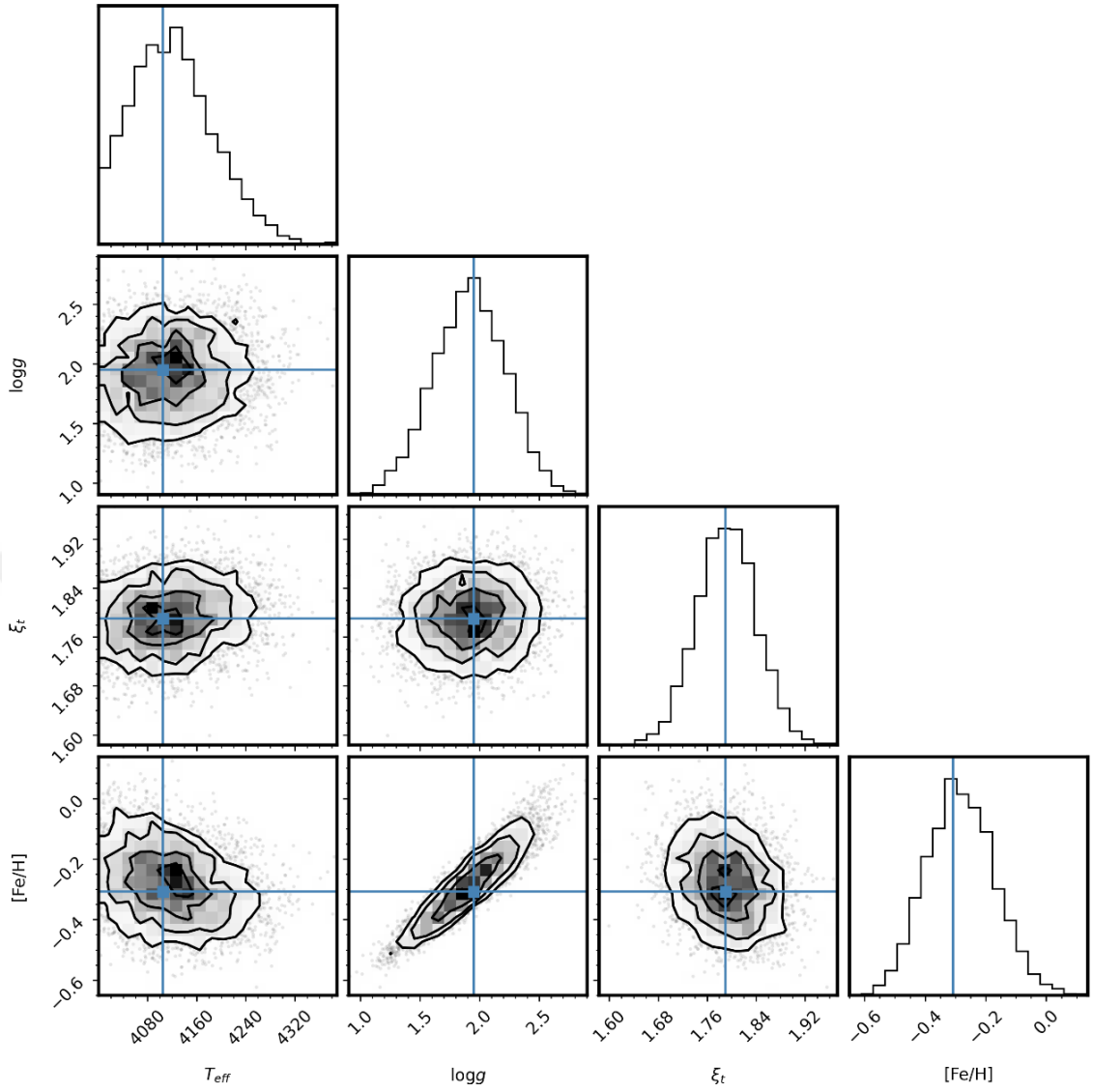
Şekil 4.1 HD 11844 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



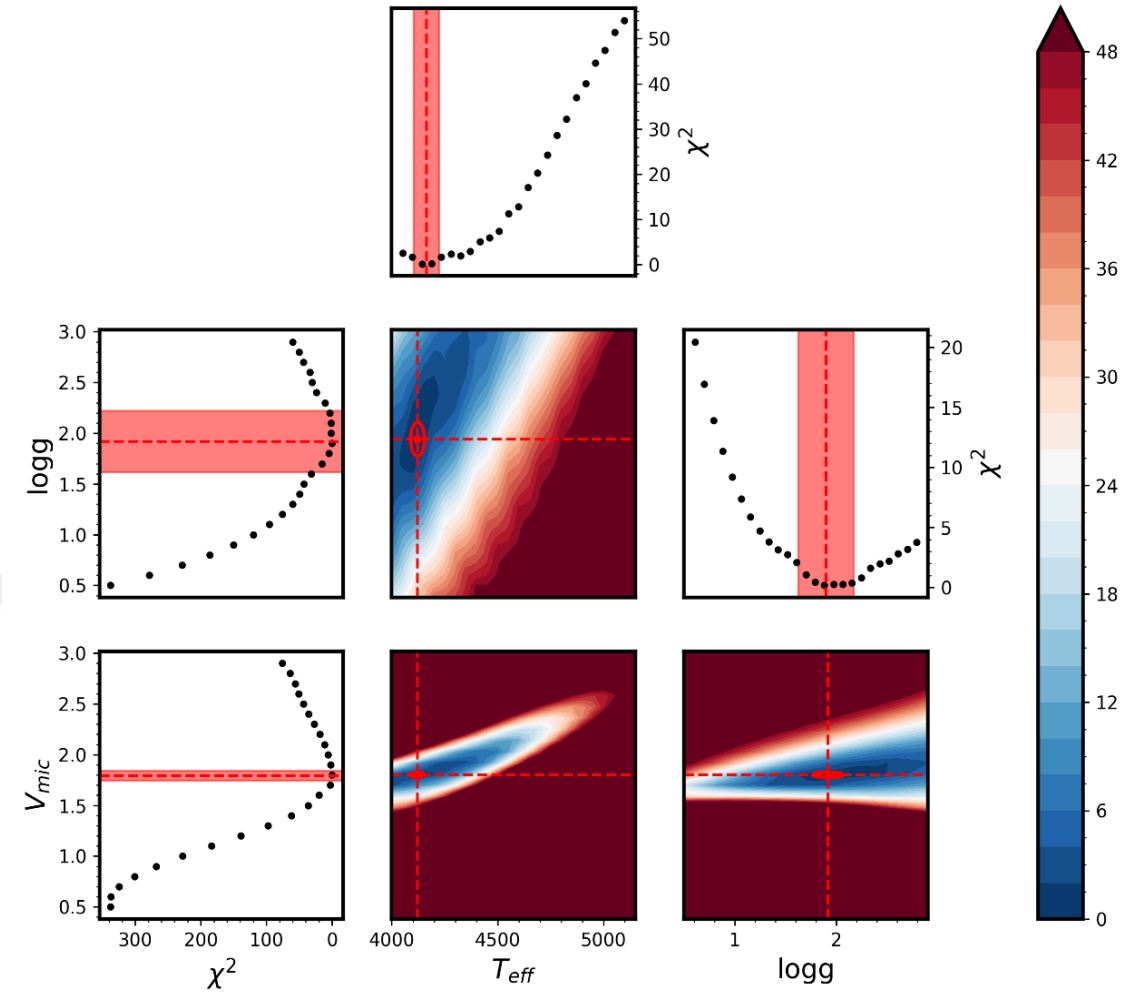
Şekil 4.2 HD 11844 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.3 HD 11844 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



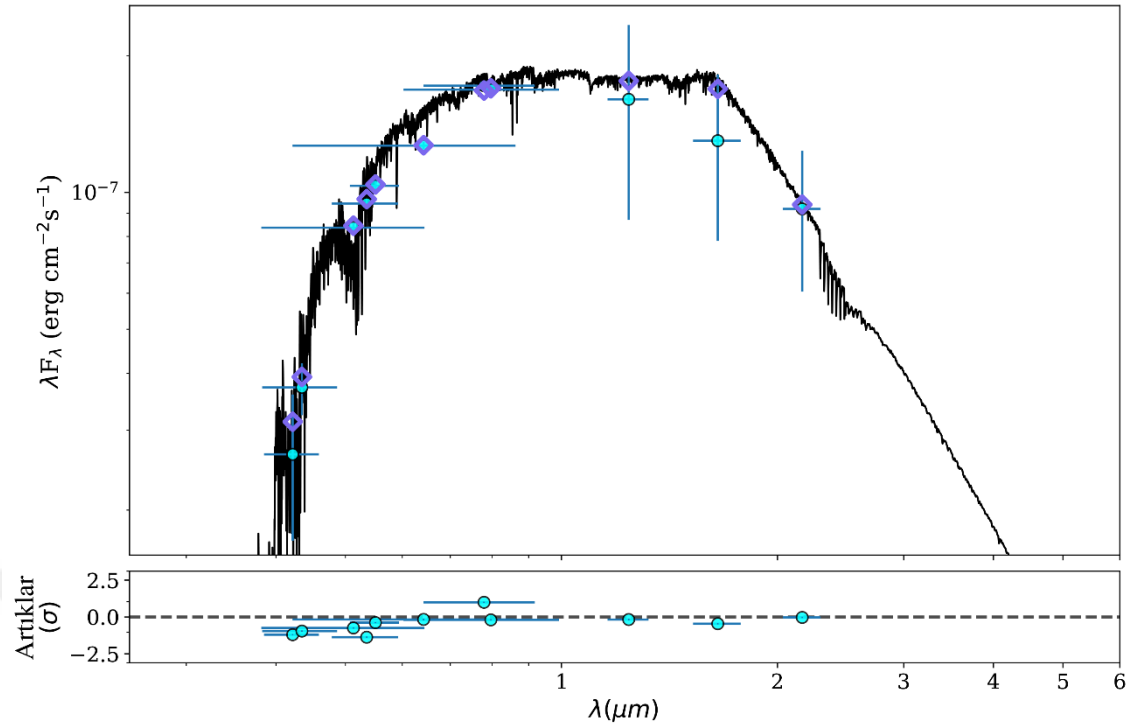
Şekil 4.4 HD 11844 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



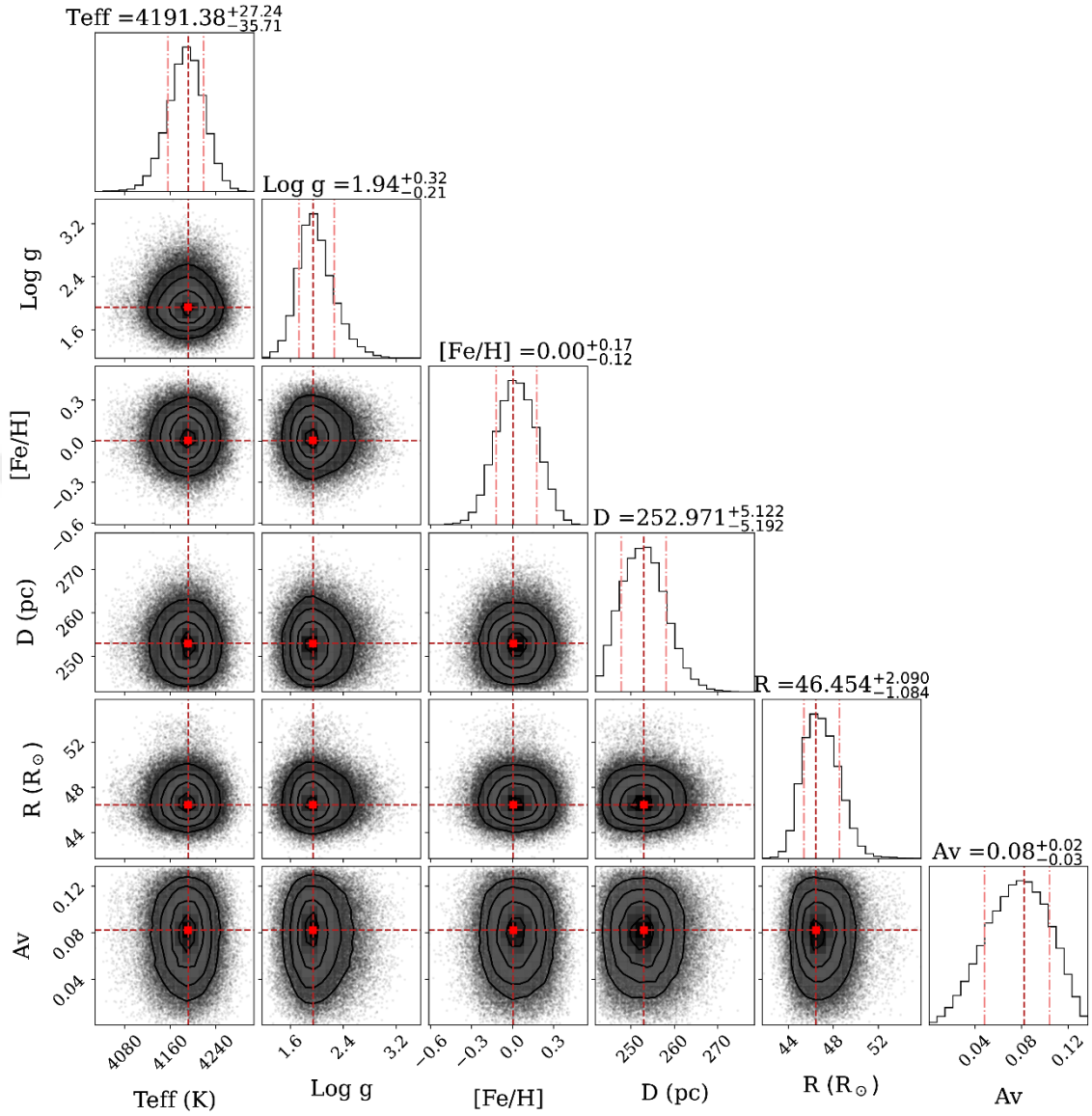
Şekil 4.5 HD 11844 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.2 HD 16028 yıldızının atmosfer parametreleri

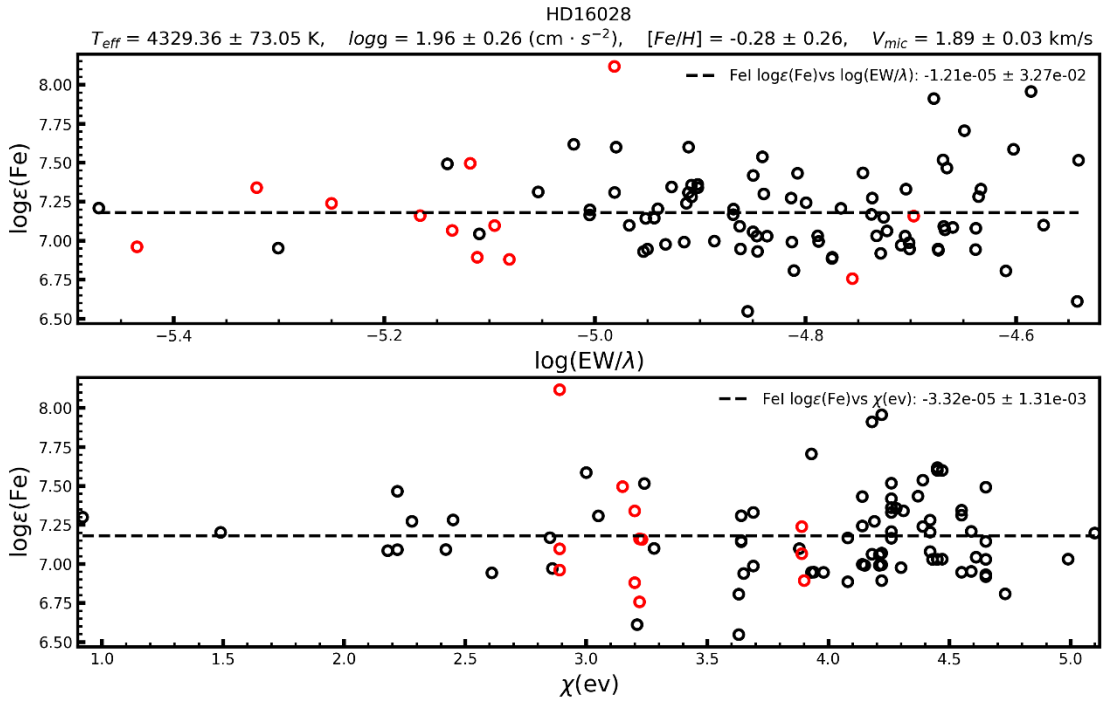
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.6 ve şekil 4.7'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da sunuldu.



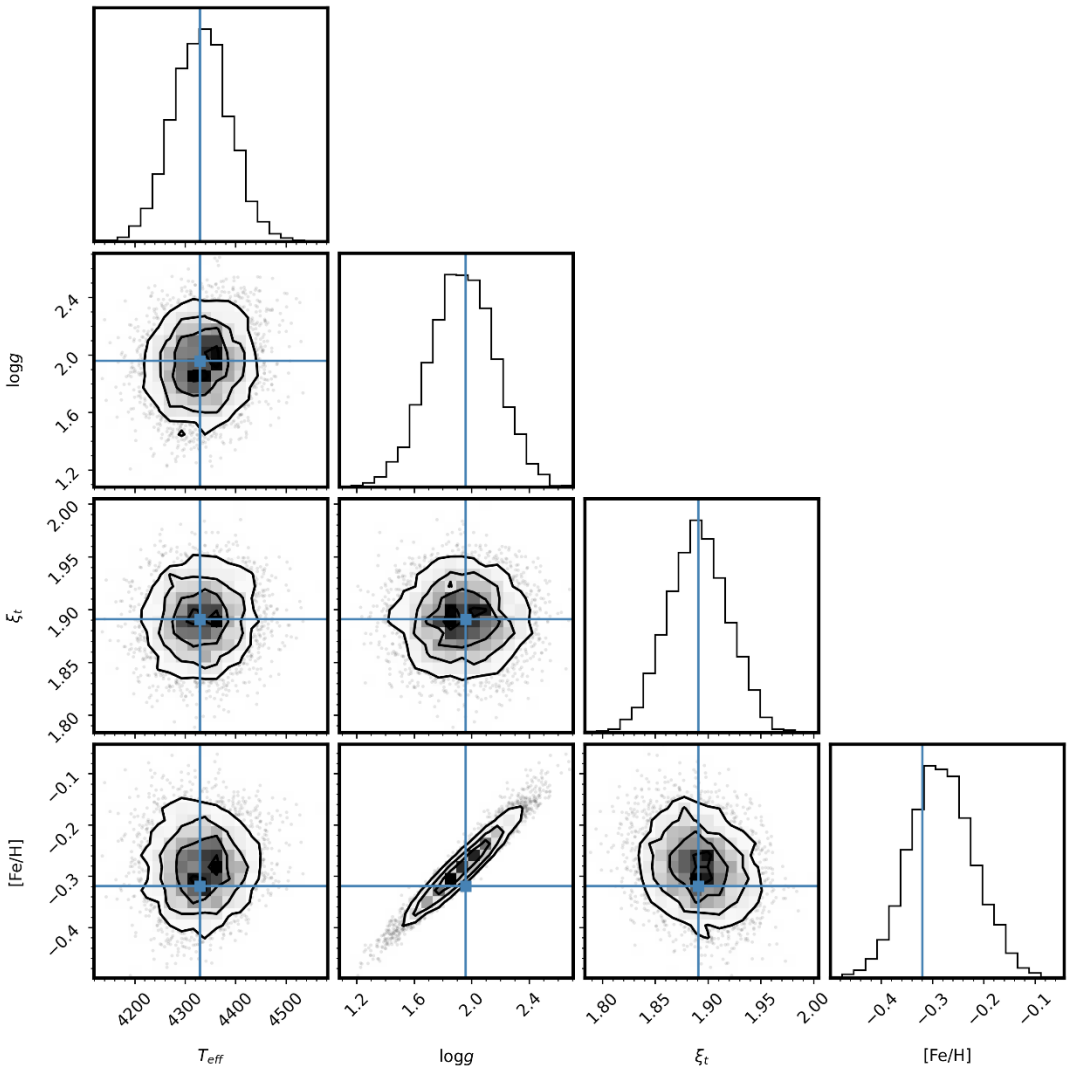
Şekil 4.6 HD 16028 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



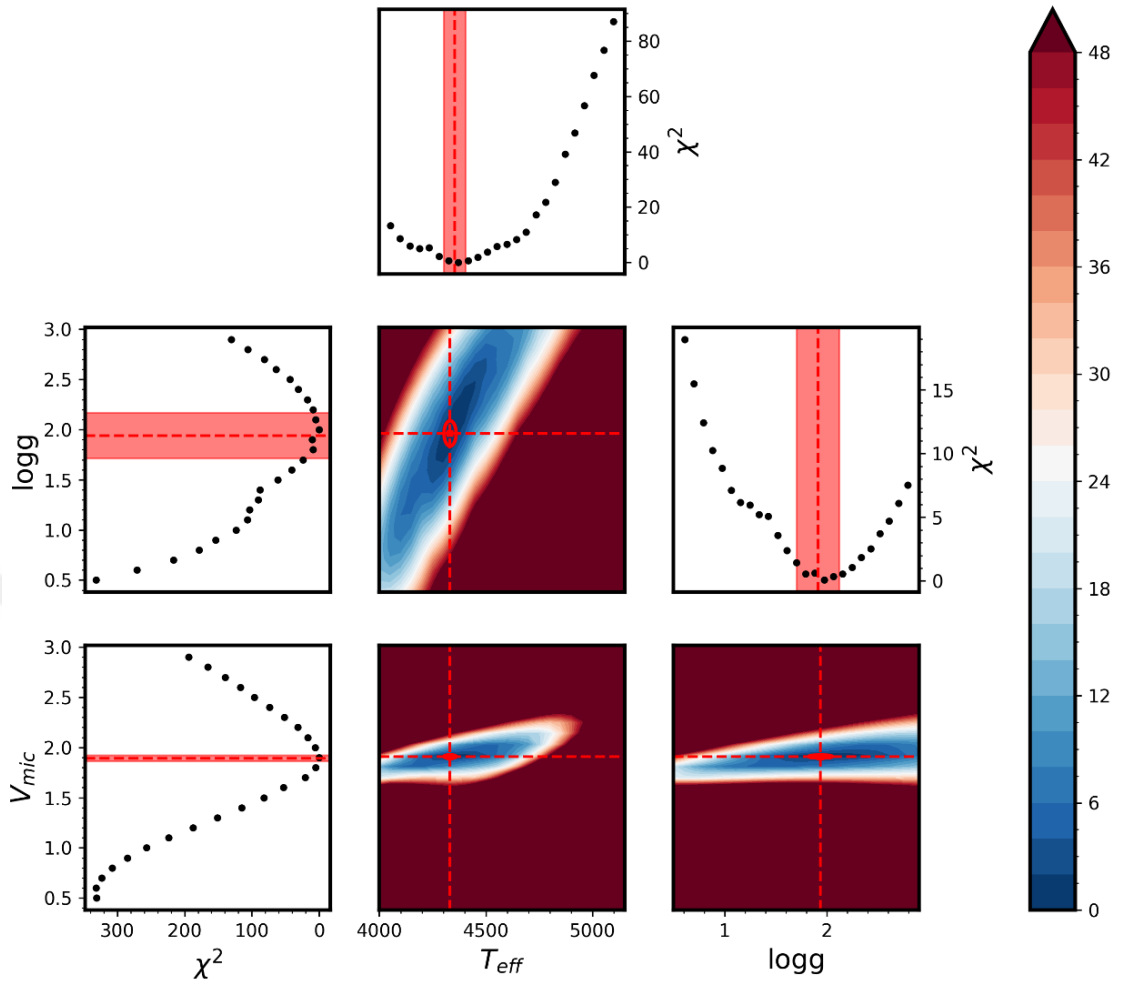
Şekil 4.7 HD 16028 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.8 HD 16028 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



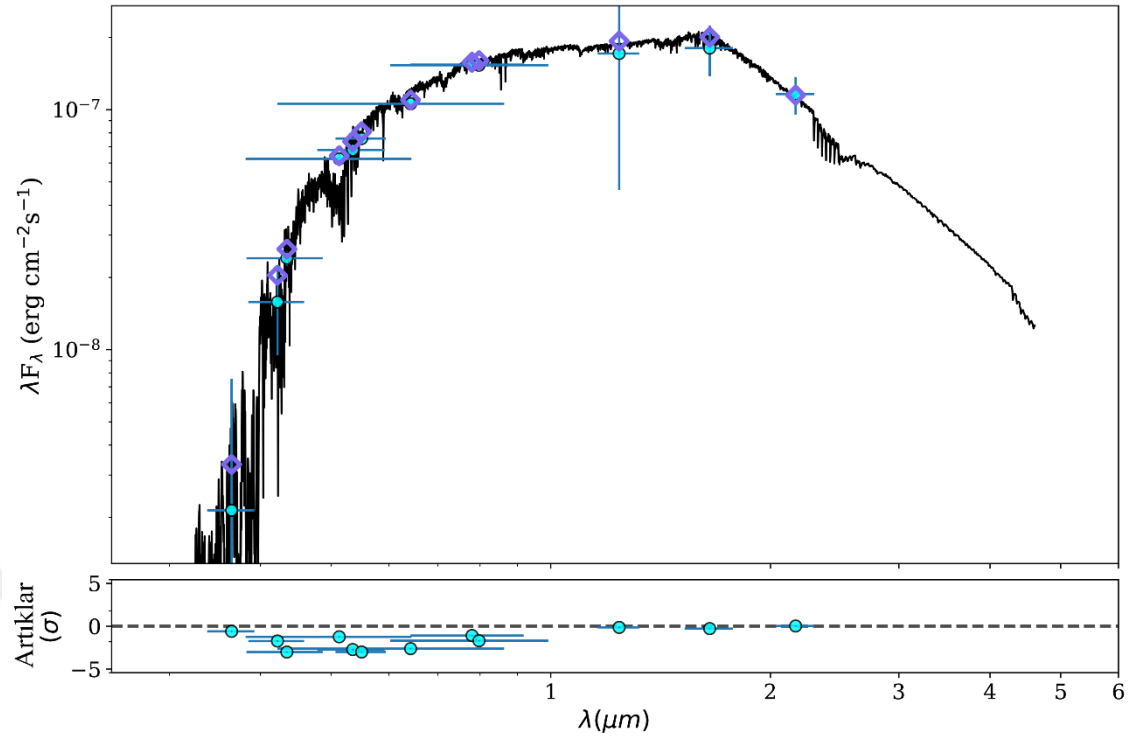
Şekil 4.9 HD 16028 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



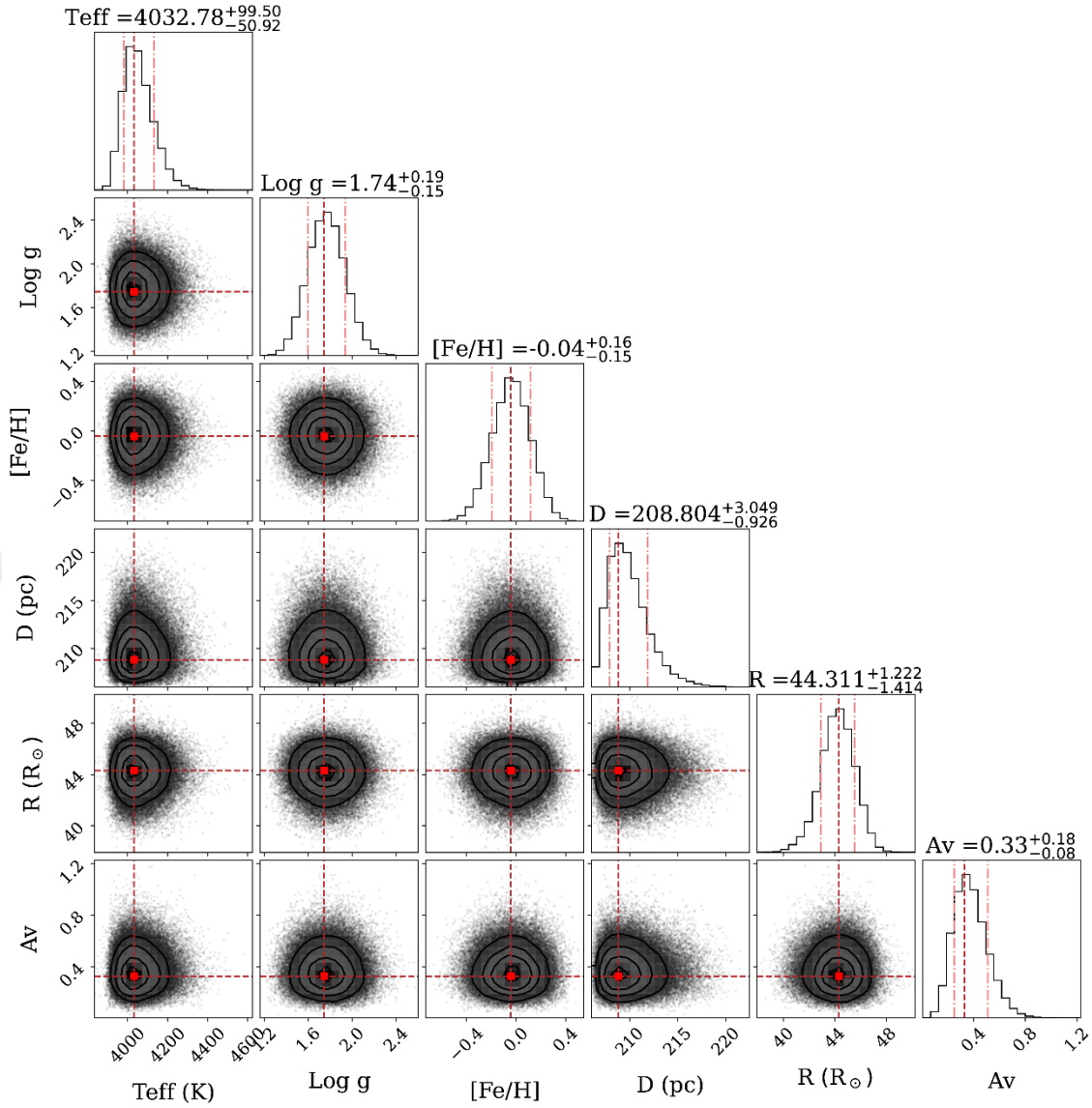
Şekil 4.10 HD 16028 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.3 HD 23049 yıldızının atmosfer parametreleri

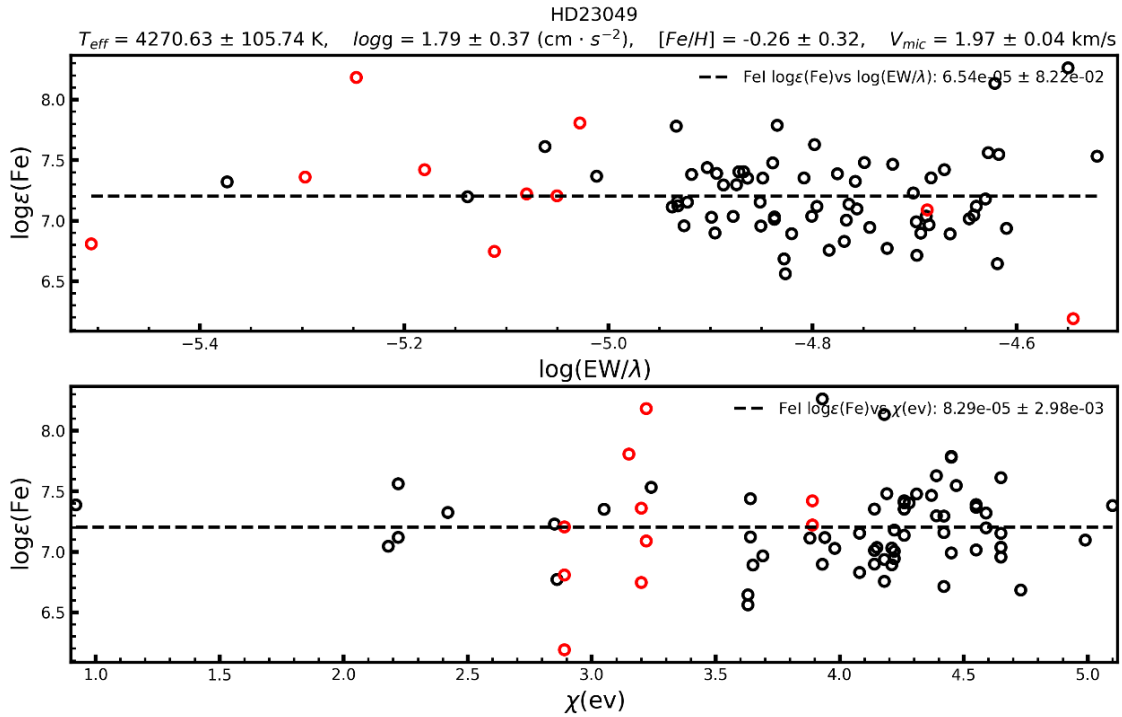
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.11 ve şekil 4.12'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te sunuldu.



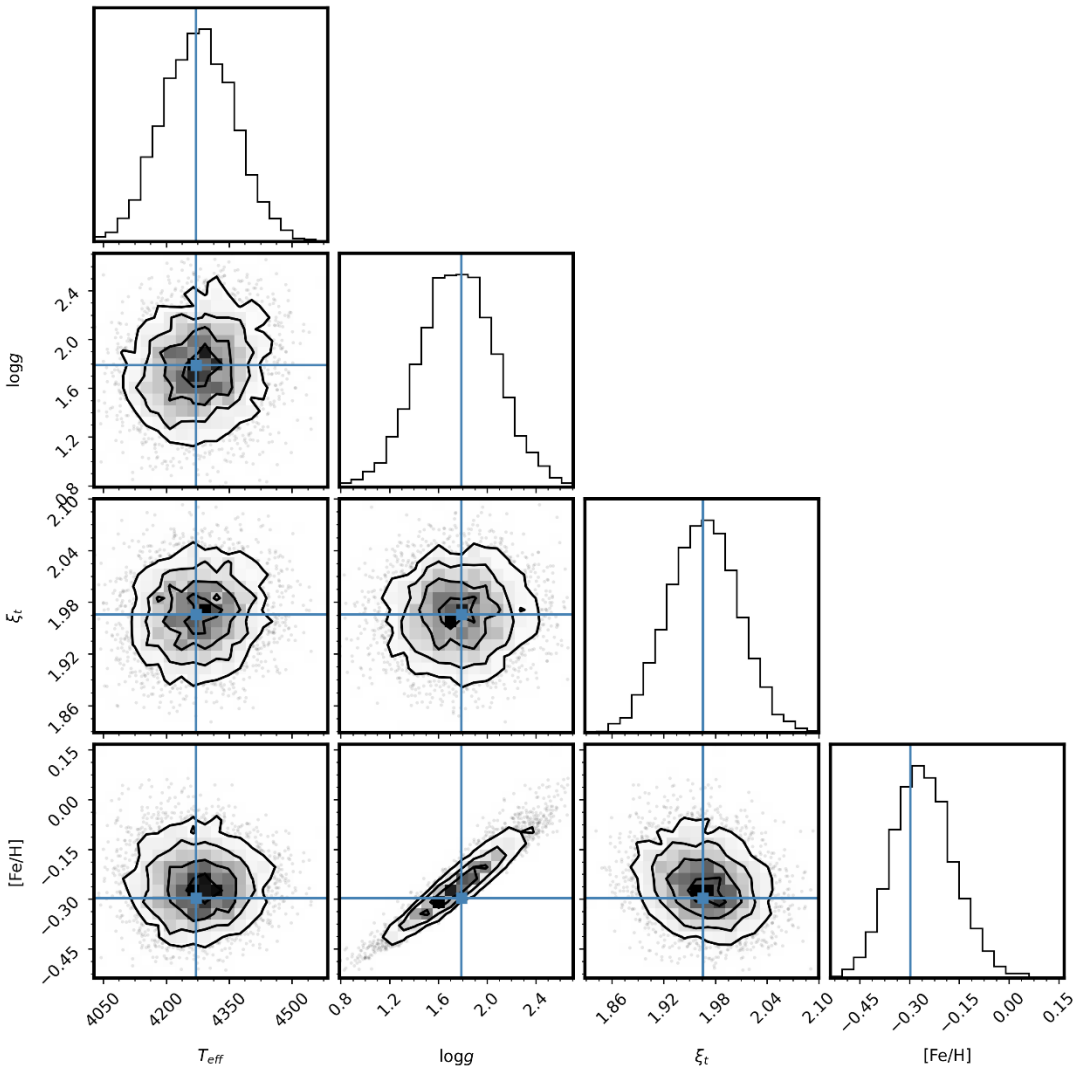
Şekil 4.11 HD 23049 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



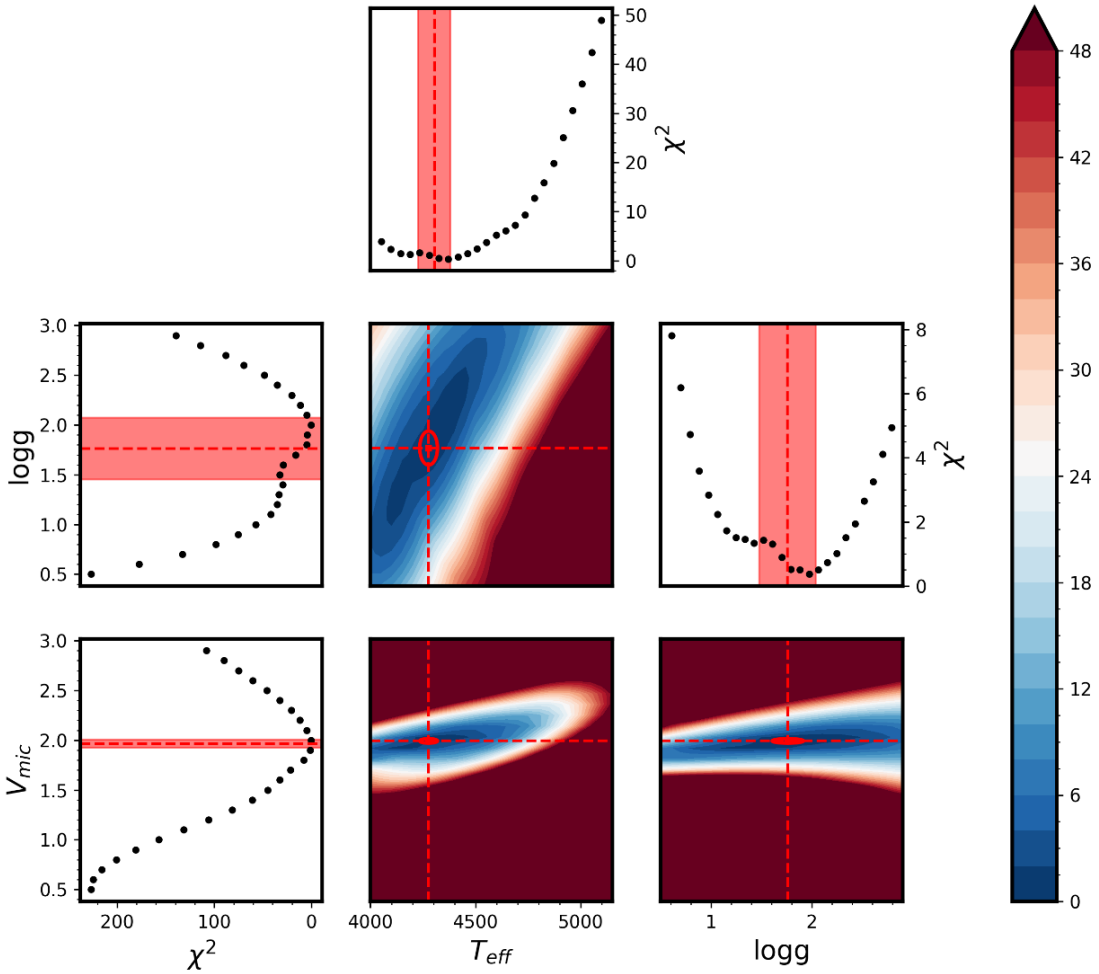
Şekil 4.12 HD 23049 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.13 HD 23049 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



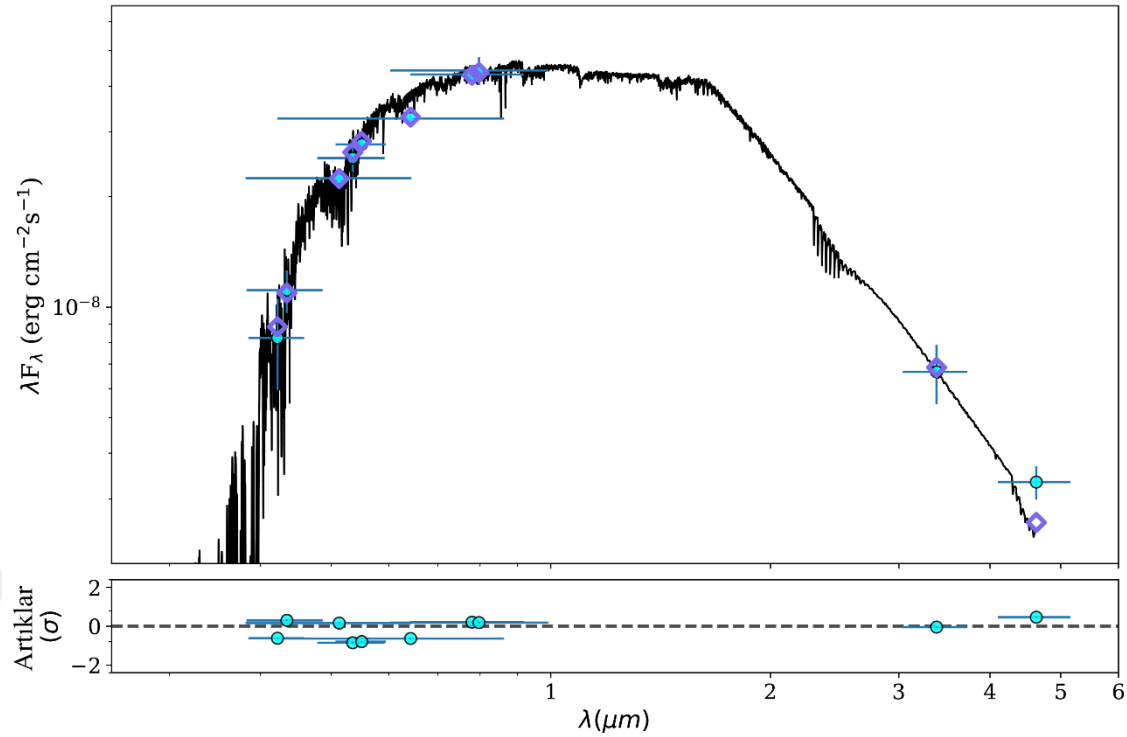
Şekil 4.14 HD 23049 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



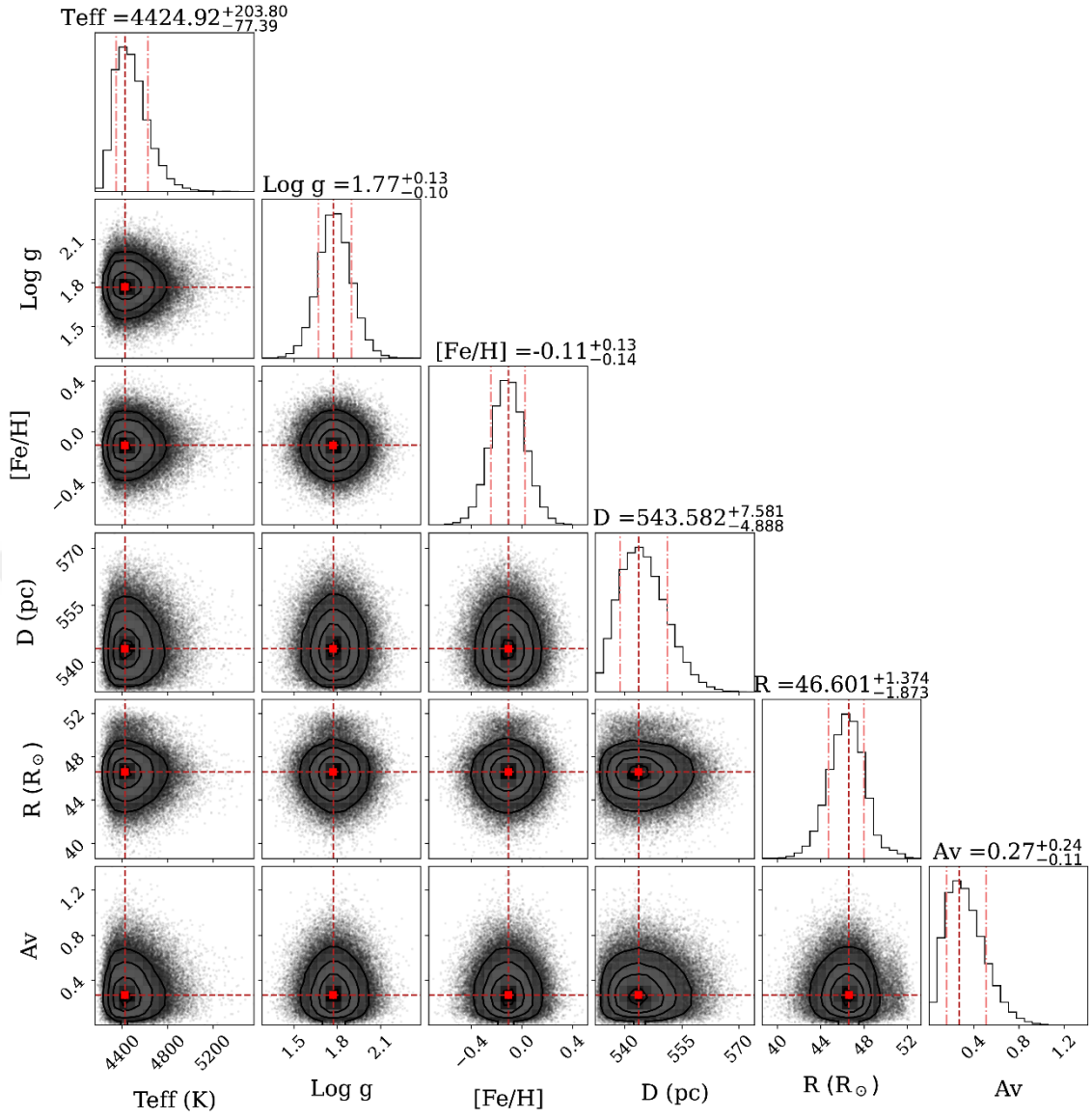
Şekil 4.15 HD 23049 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.4 HD 25350 yıldızının atmosfer parametreleri

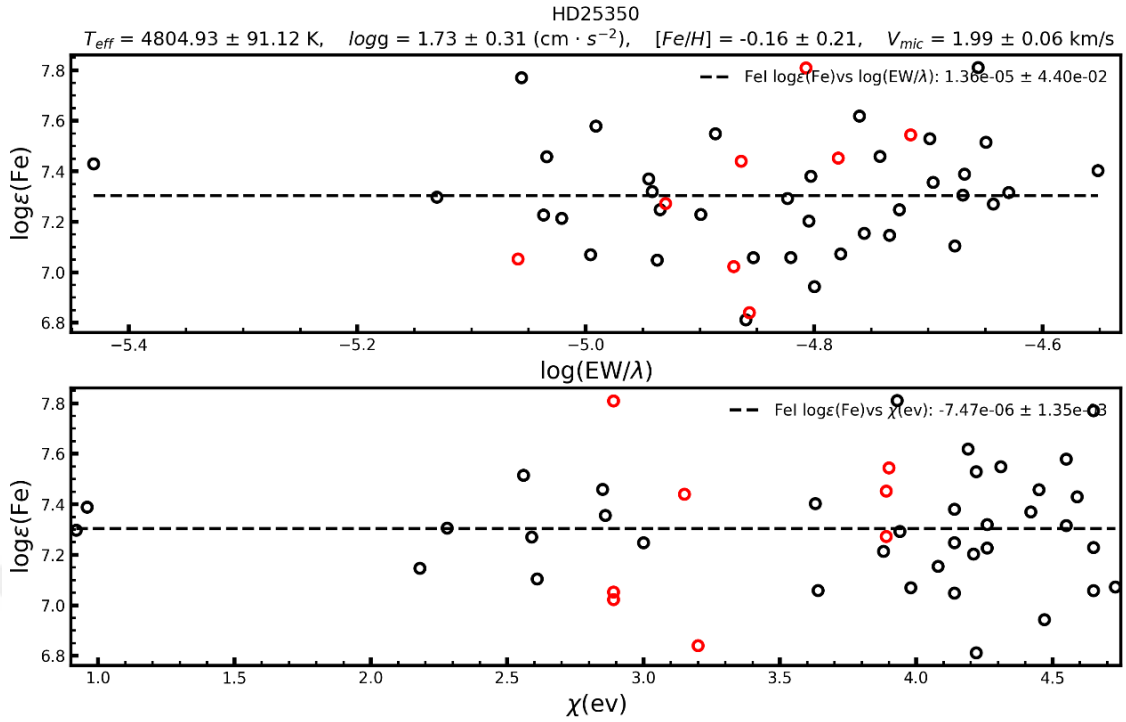
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.16 ve şekil 4.17'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de sunuldu.



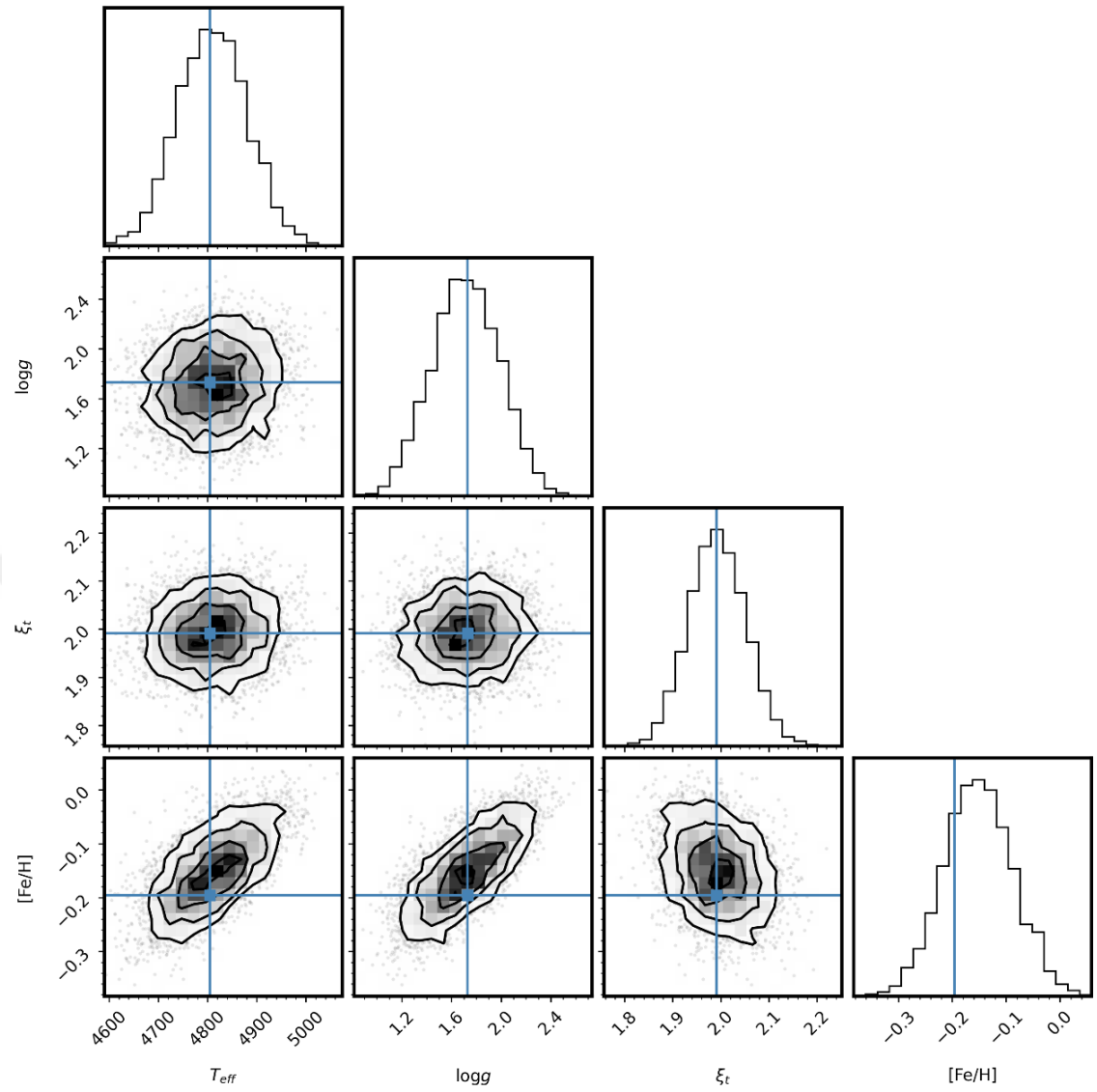
Şekil 4.16 HD 25350 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



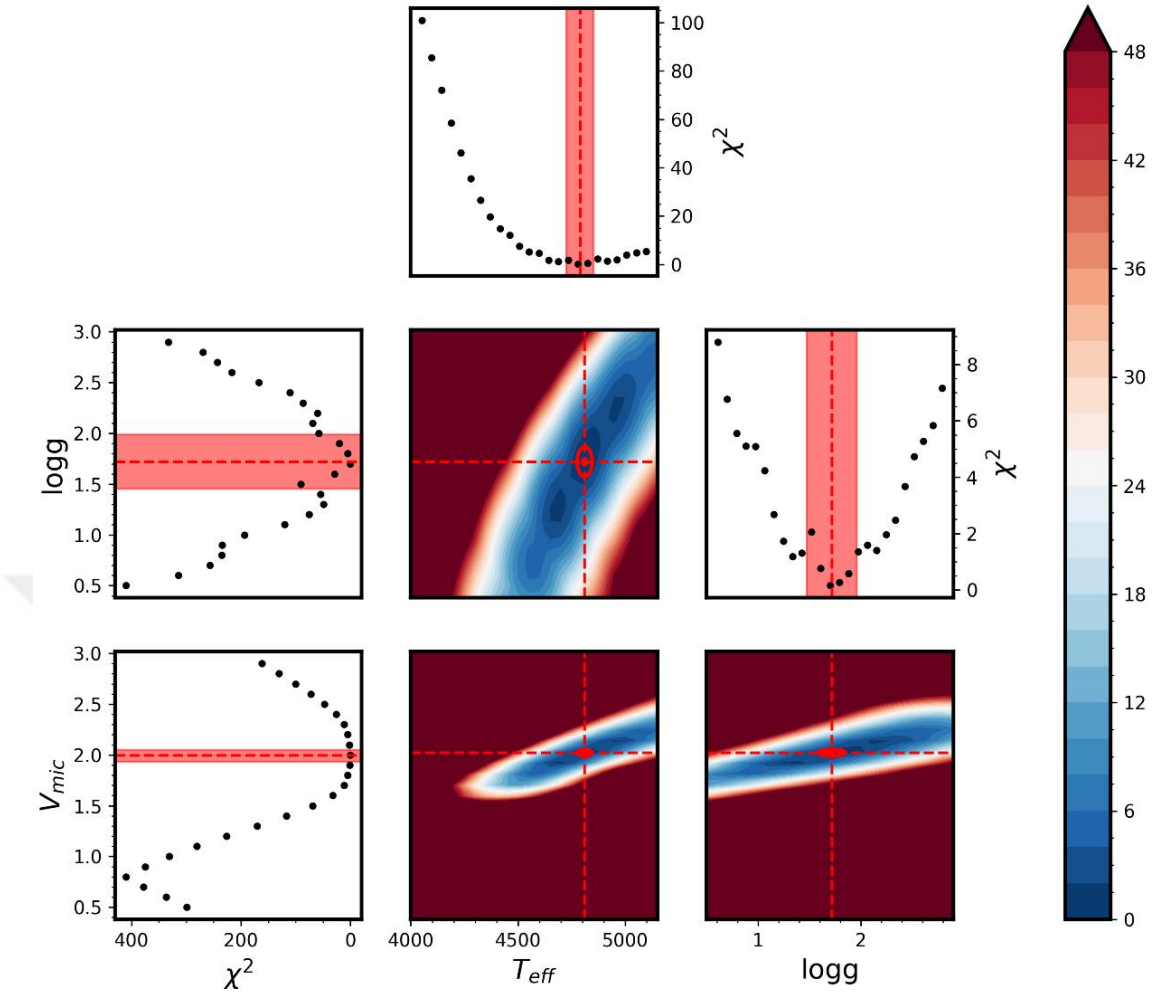
Şekil 4.17 HD 25350 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.18 HD 25350 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



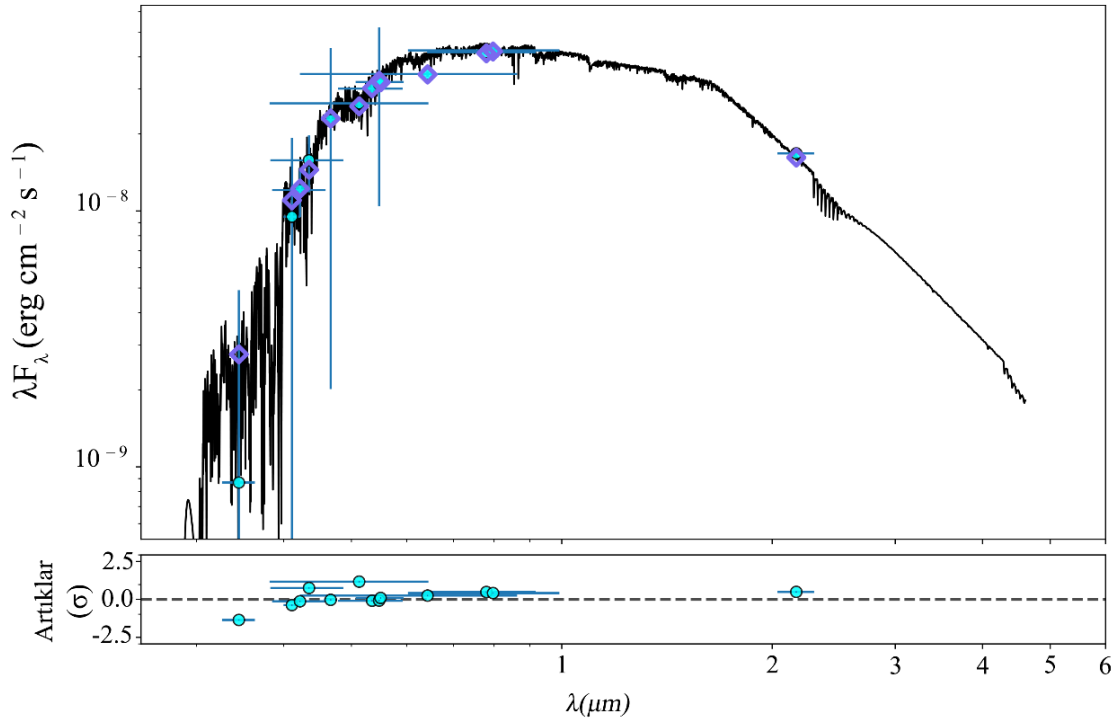
Şekil 4.19 HD 25350 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



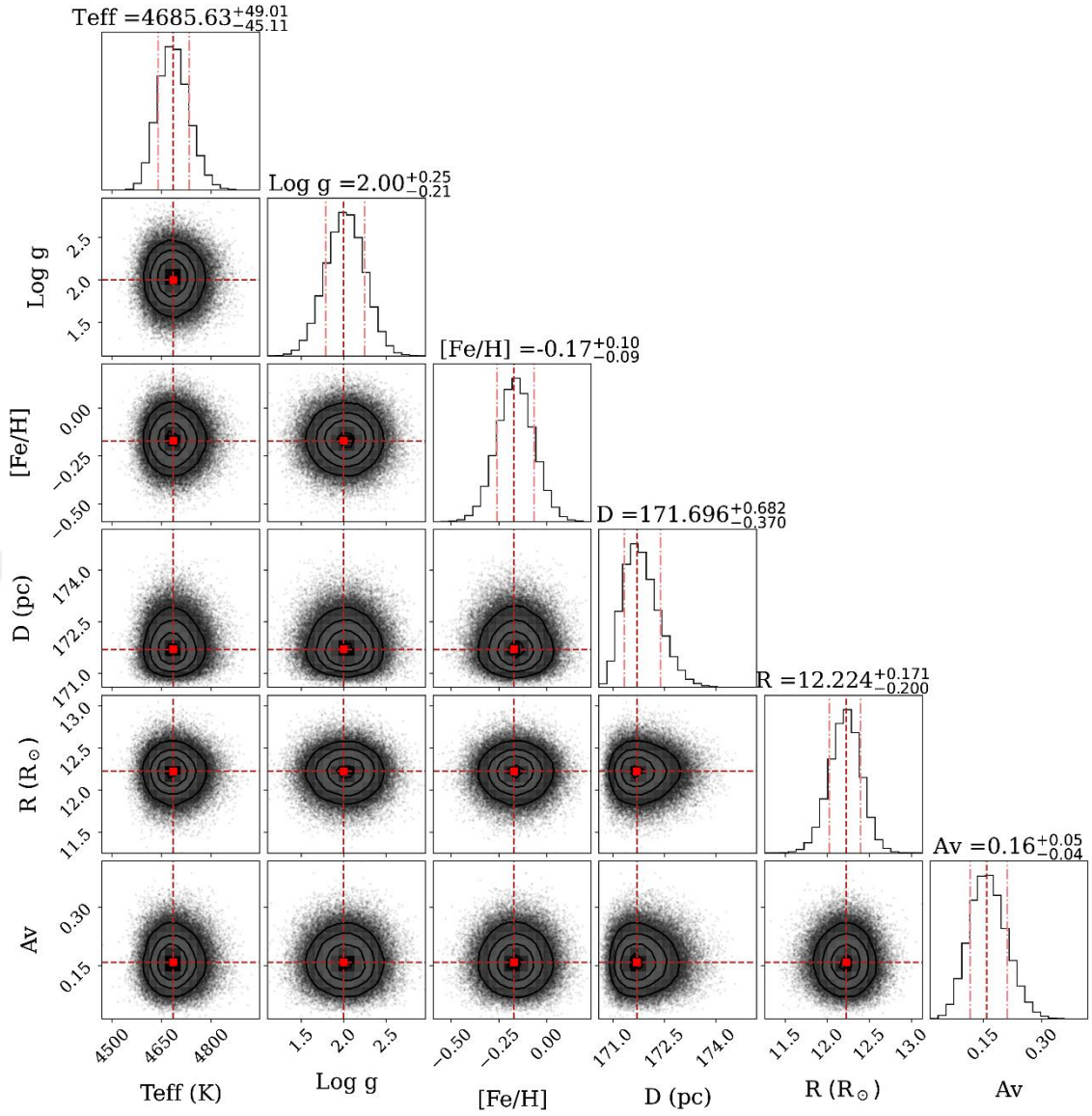
Şekil 4.20 HD 25350 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.5 HD 28171 yıldızının atmosfer parametreleri

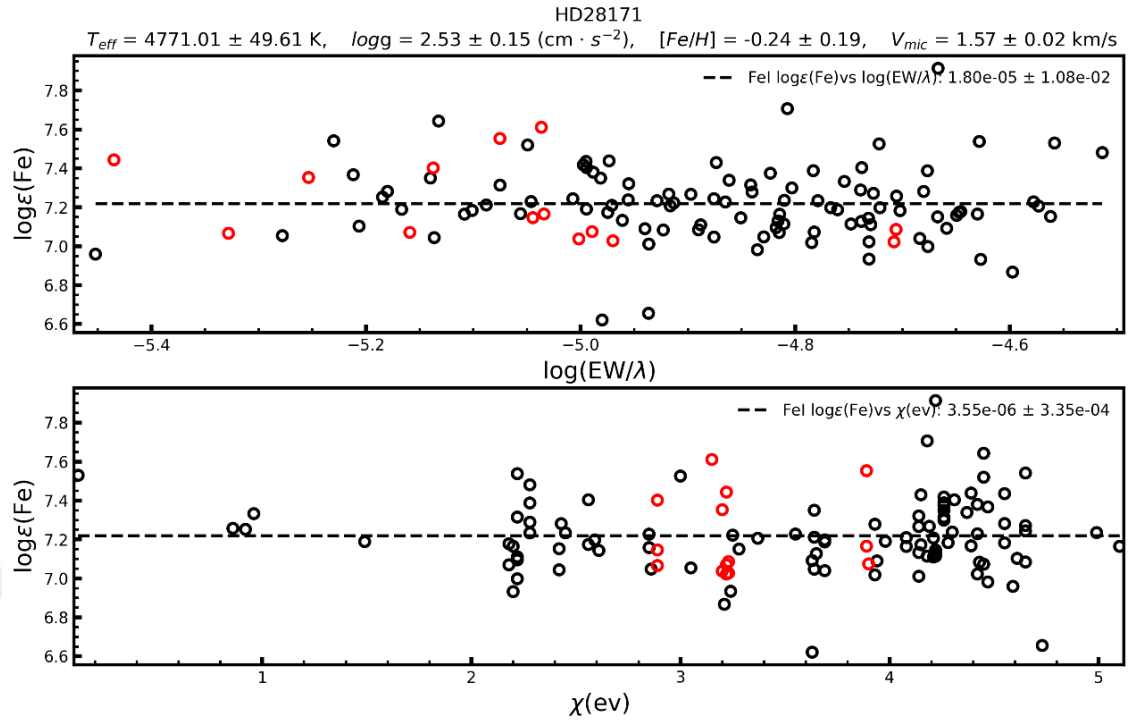
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.21 ve şekil 4.22'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.23, 4.24 ve 4.25'te sunuldu.



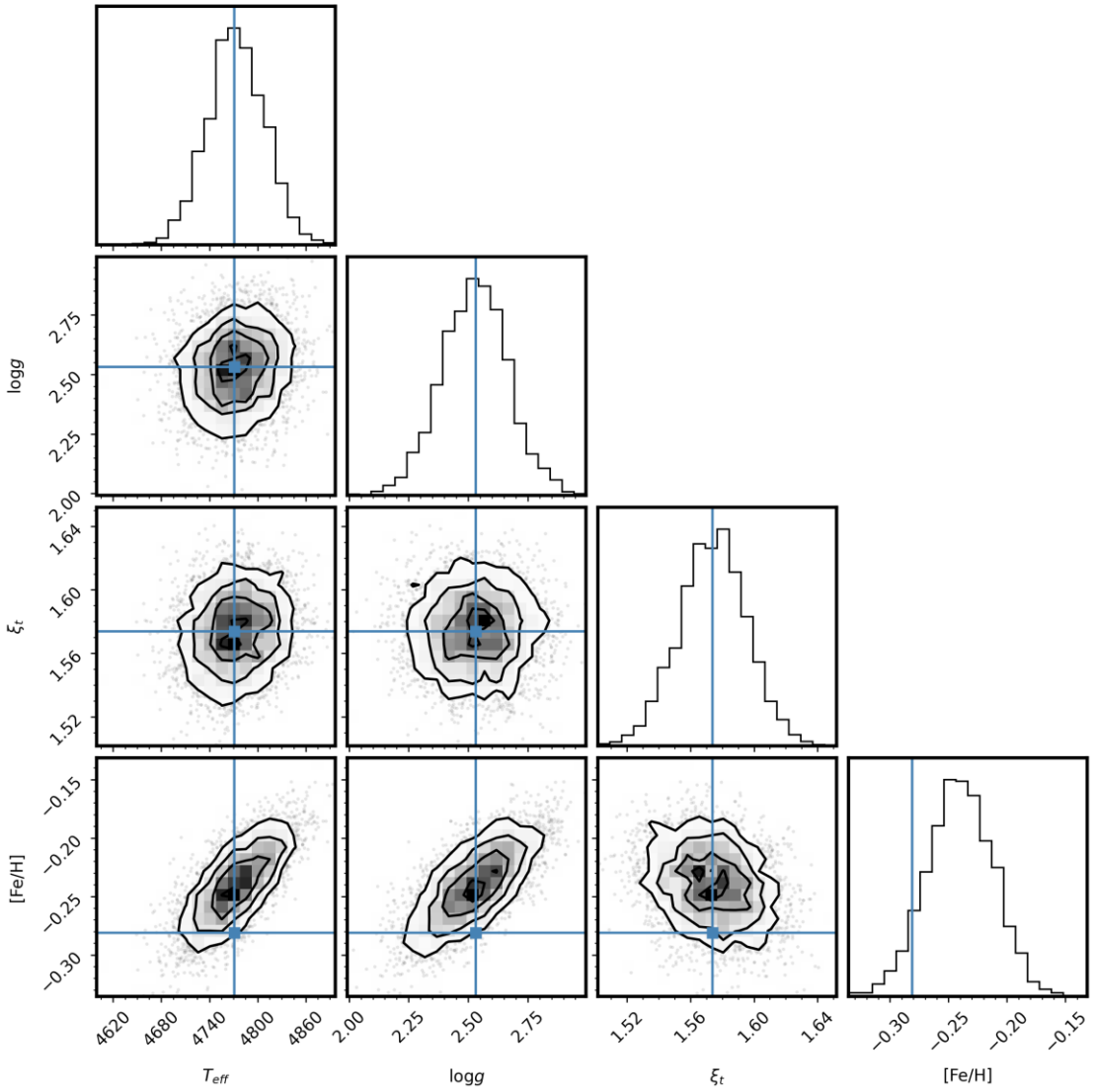
Şekil 4.21 HD 28171 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



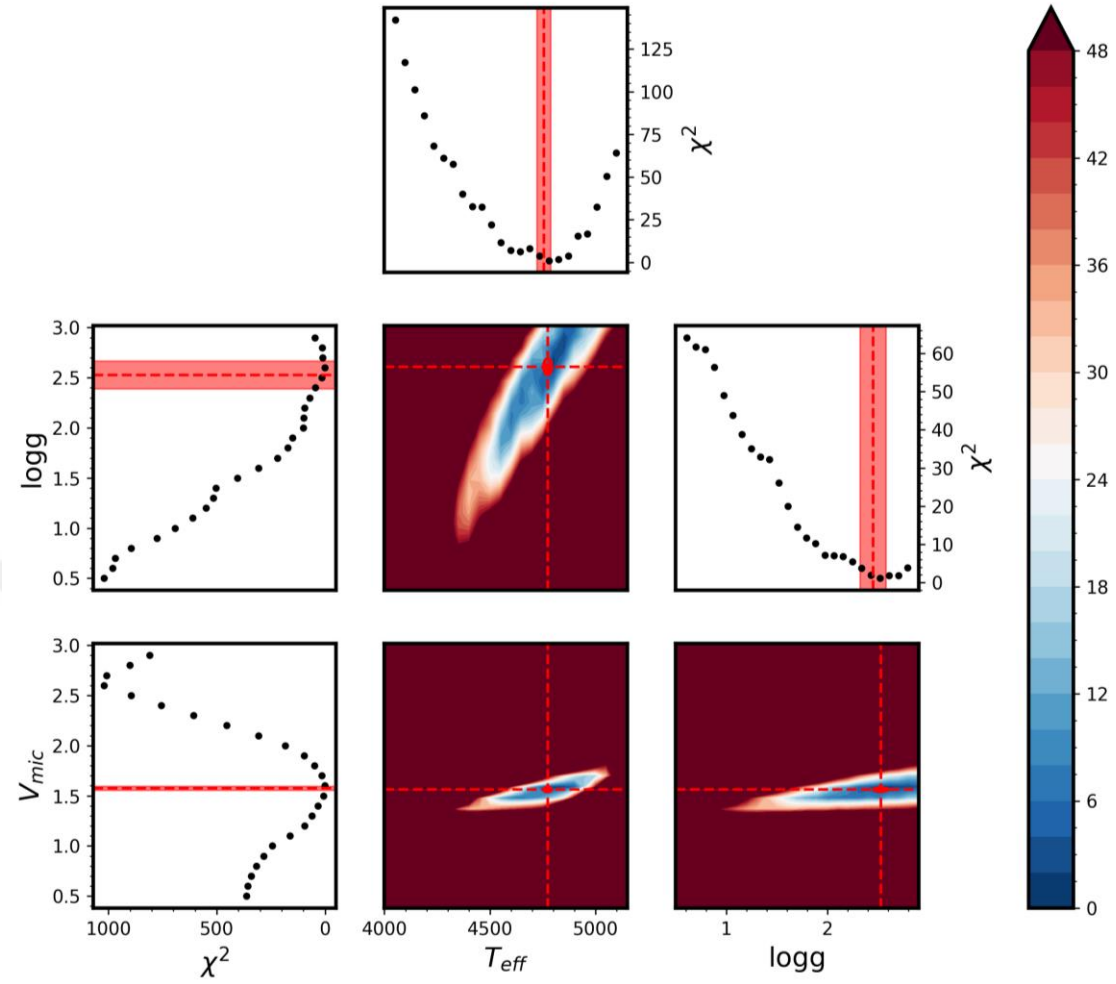
Şekil 4.22 HD 28171 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.23 HD 28171 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



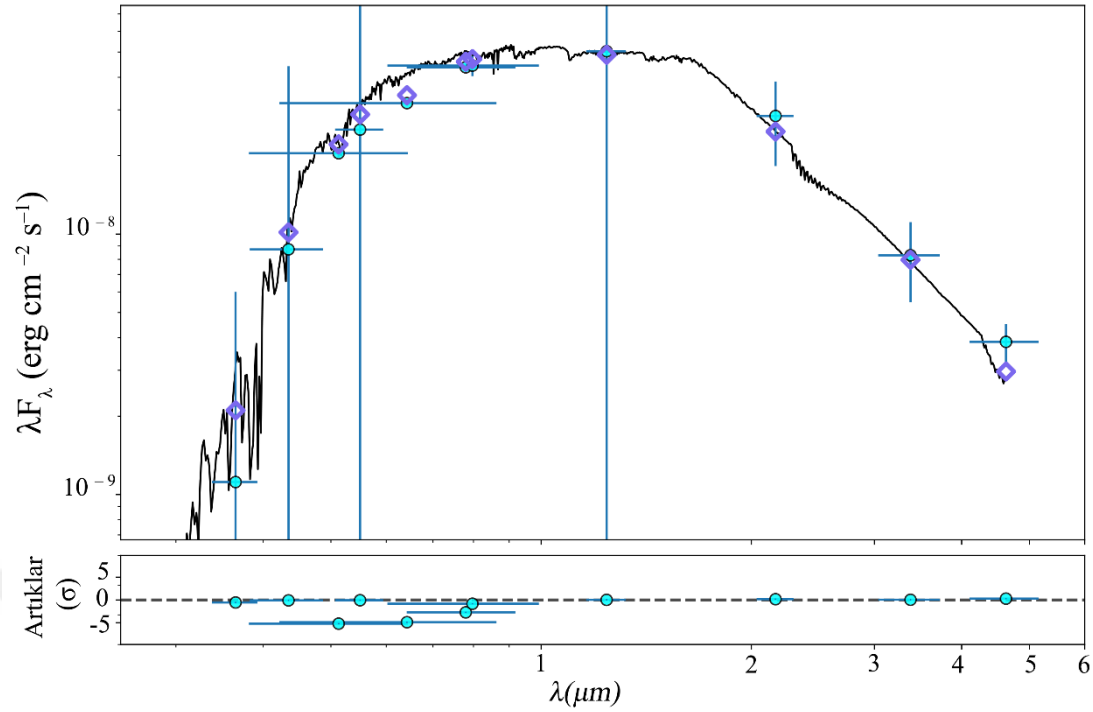
Şekil 4.24 HD 28171 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



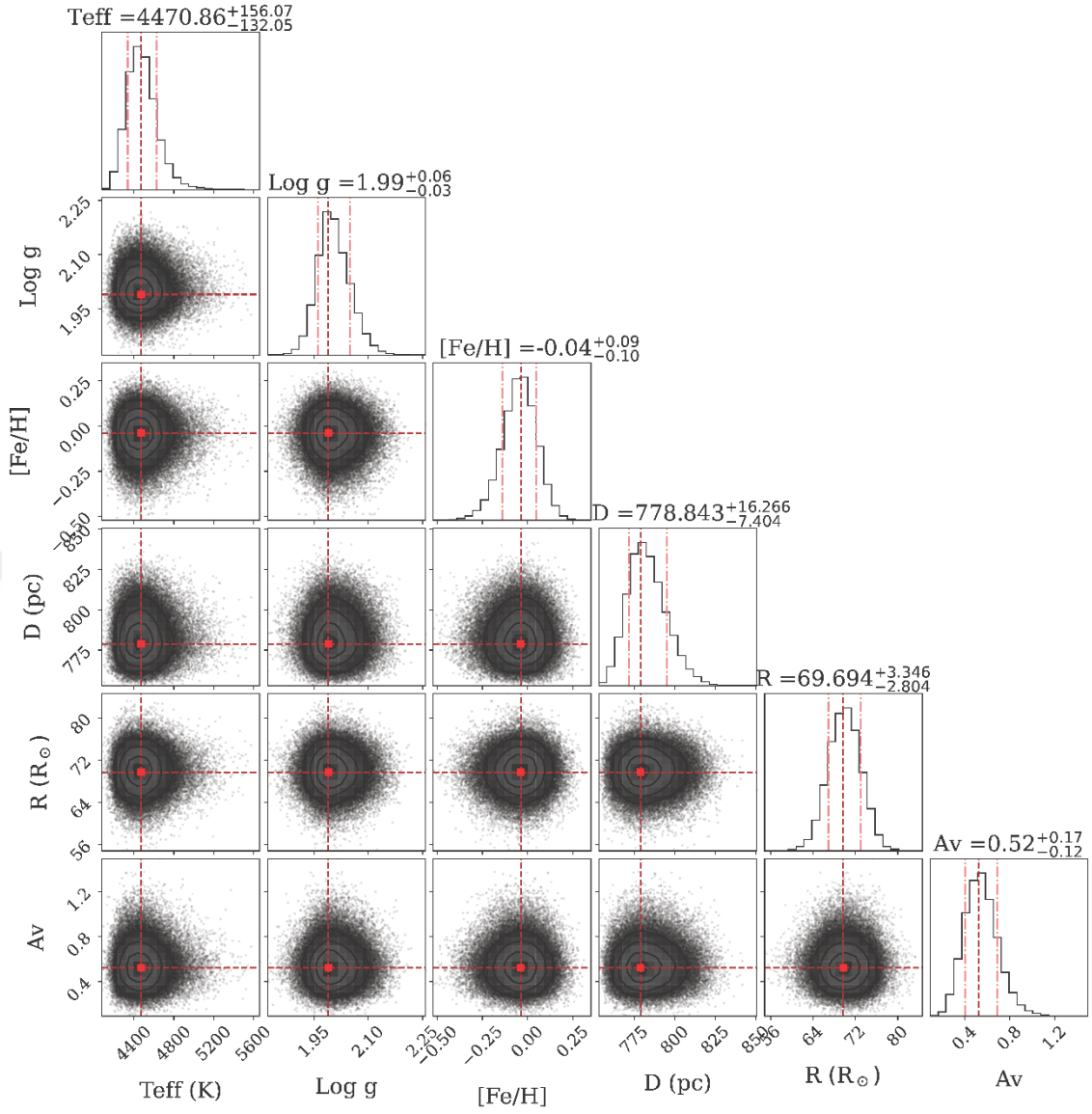
Şekil 4.25 HD 28171 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.6 HD 34190 yıldızının atmosfer parametreleri

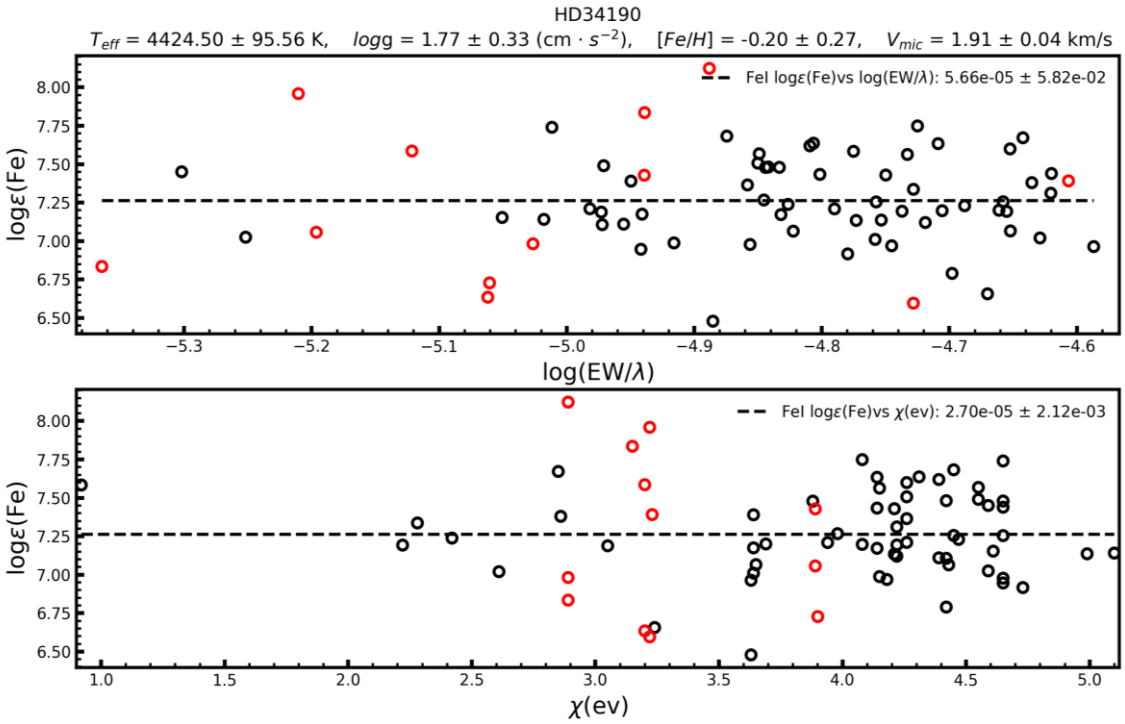
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.26 ve şekil 4.27'te verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da sunuldu.



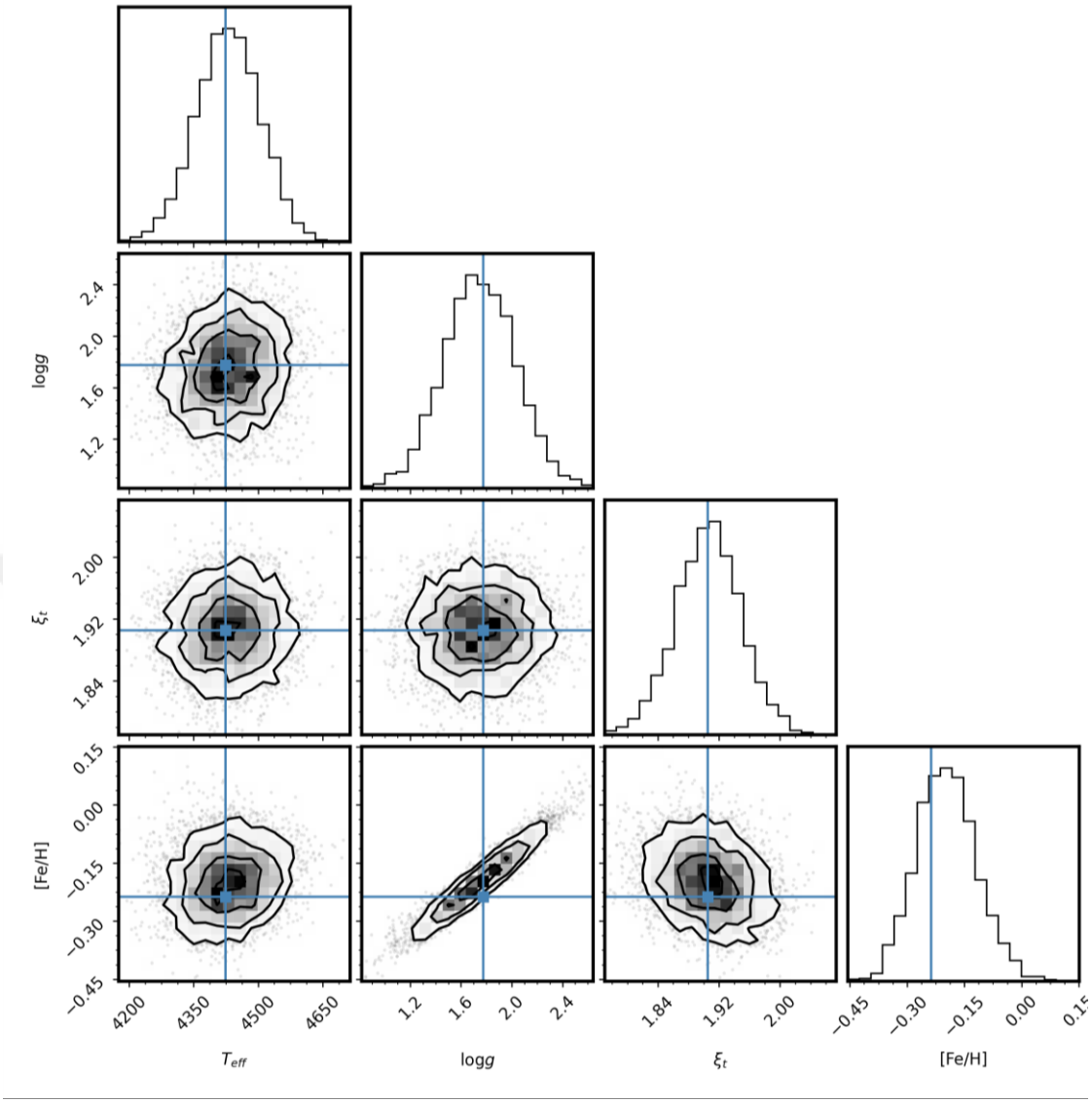
Şekil 4.26 HD 34190 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



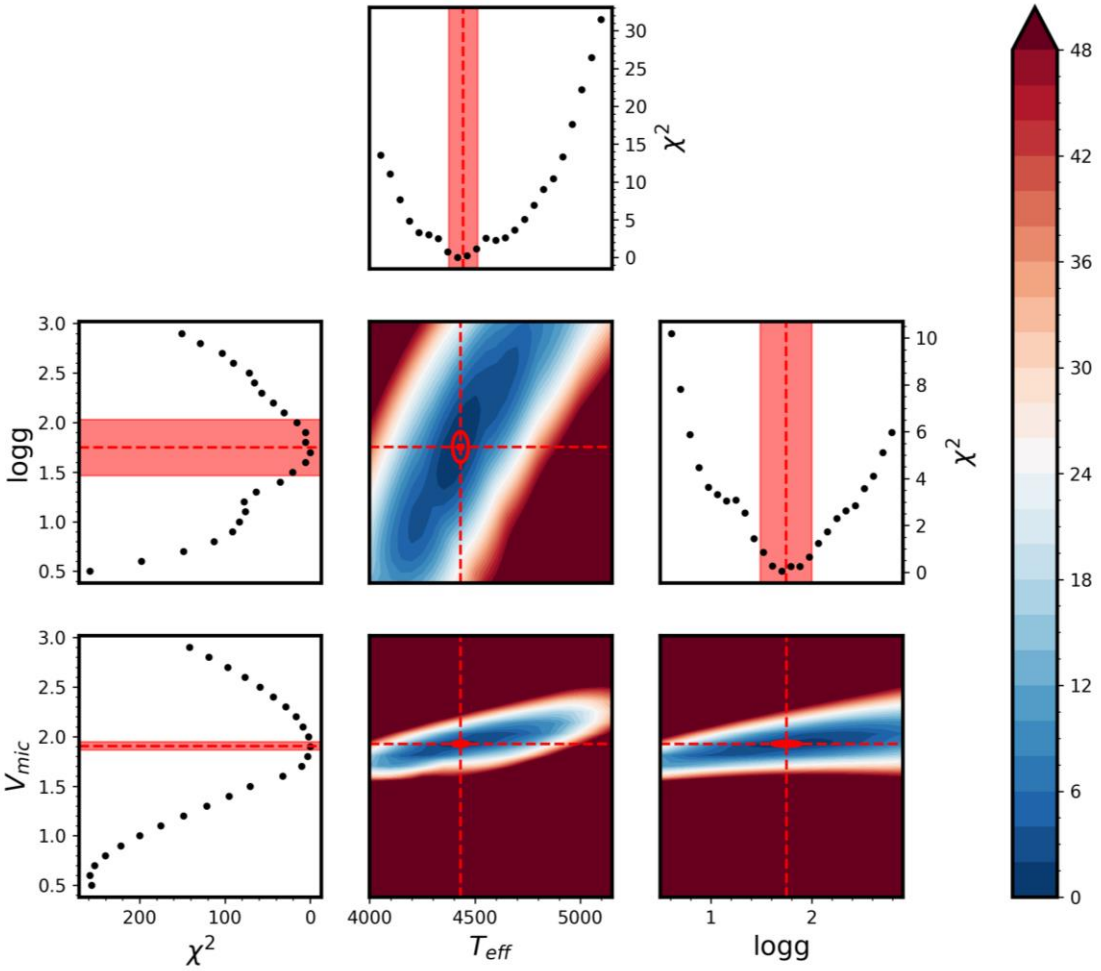
Şekil 4.27 HD 34190 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.28 HD 34190 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



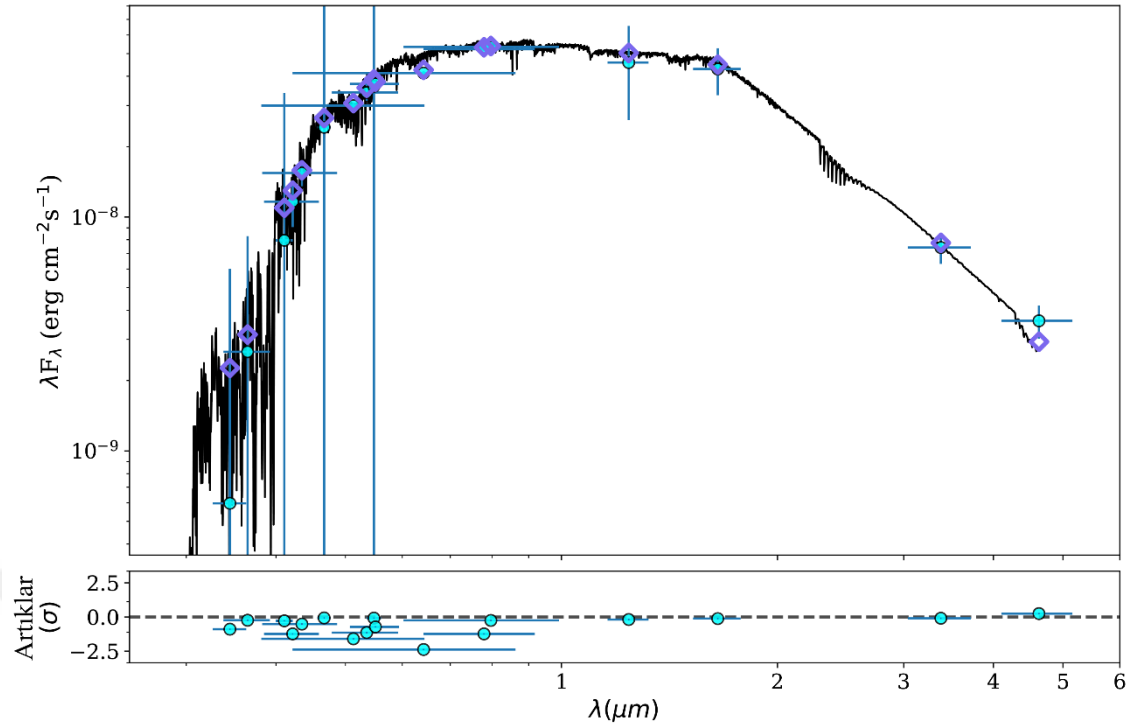
Şekil 4.29 HD 34190 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



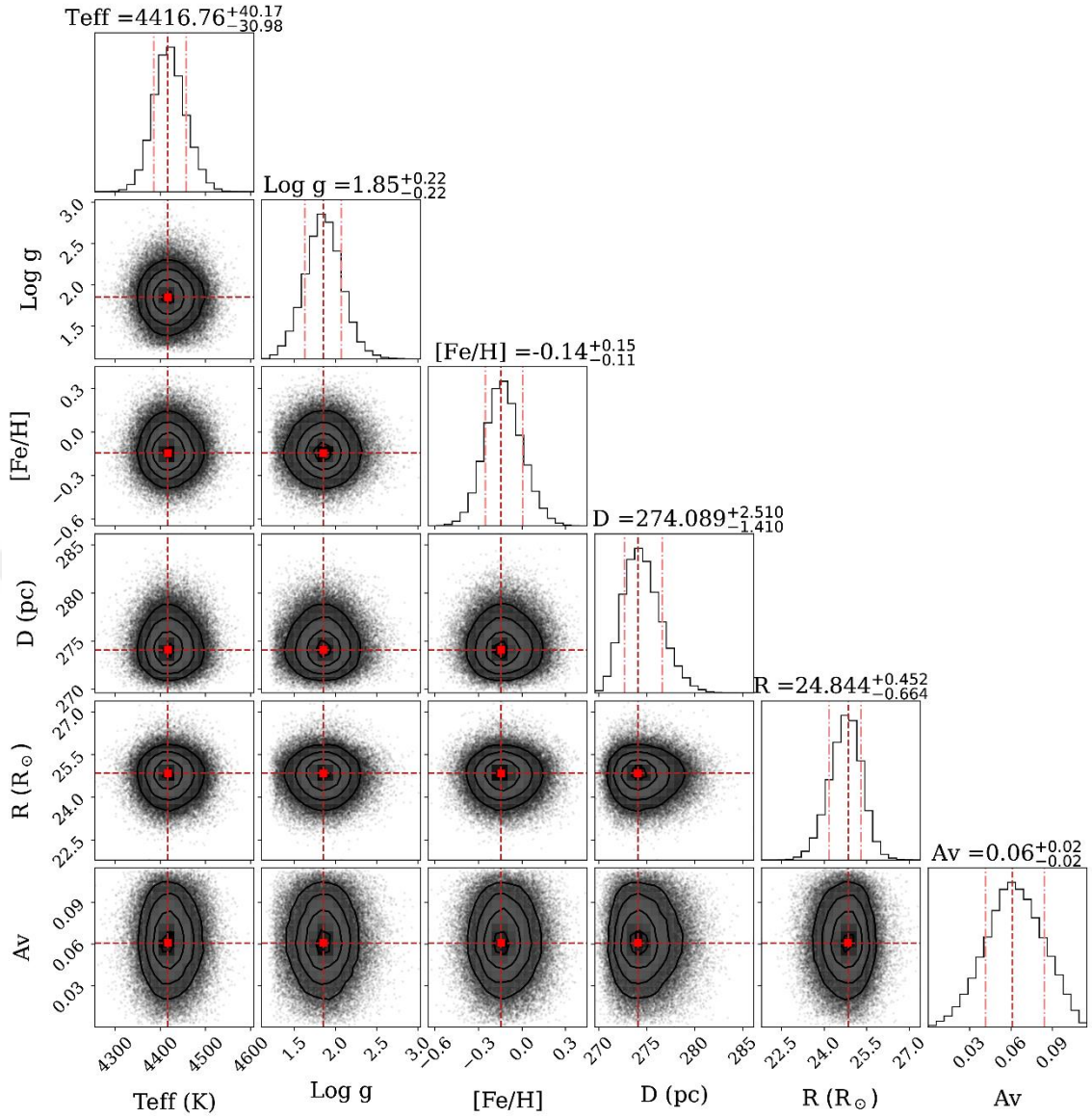
Şekil 4.30 HD 34190 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.7 HD 60935 yıldızının atmosfer parametreleri

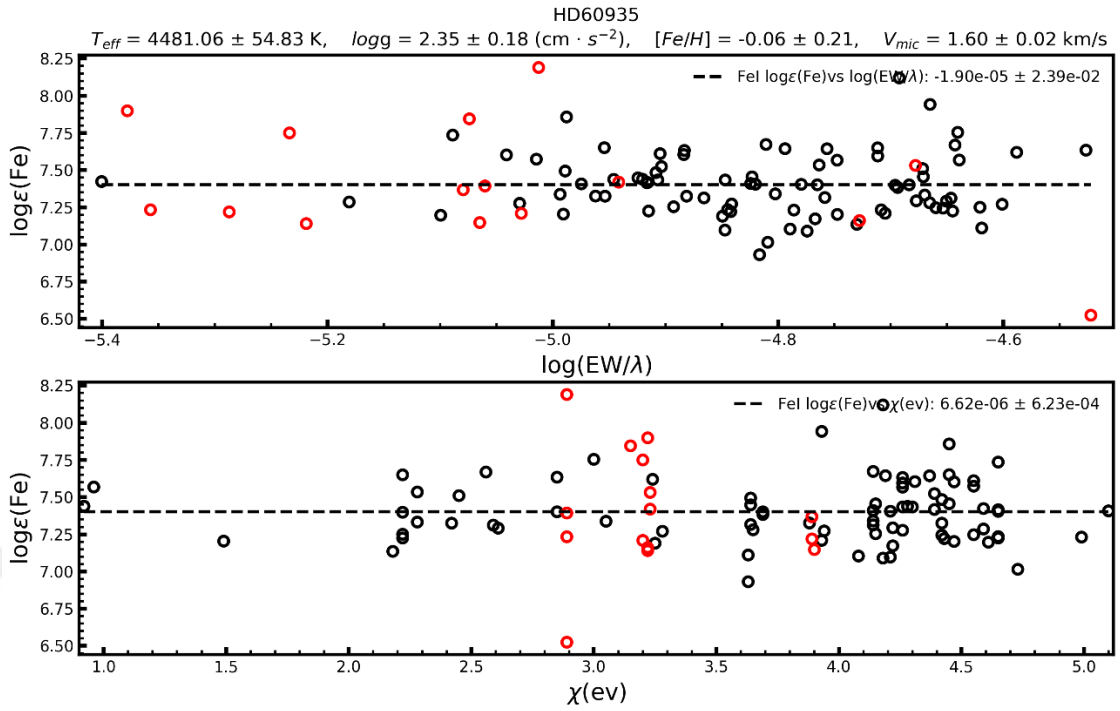
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.31 ve şekil 4.32'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.33, 4.34 ve 4.35'te sunuldu.



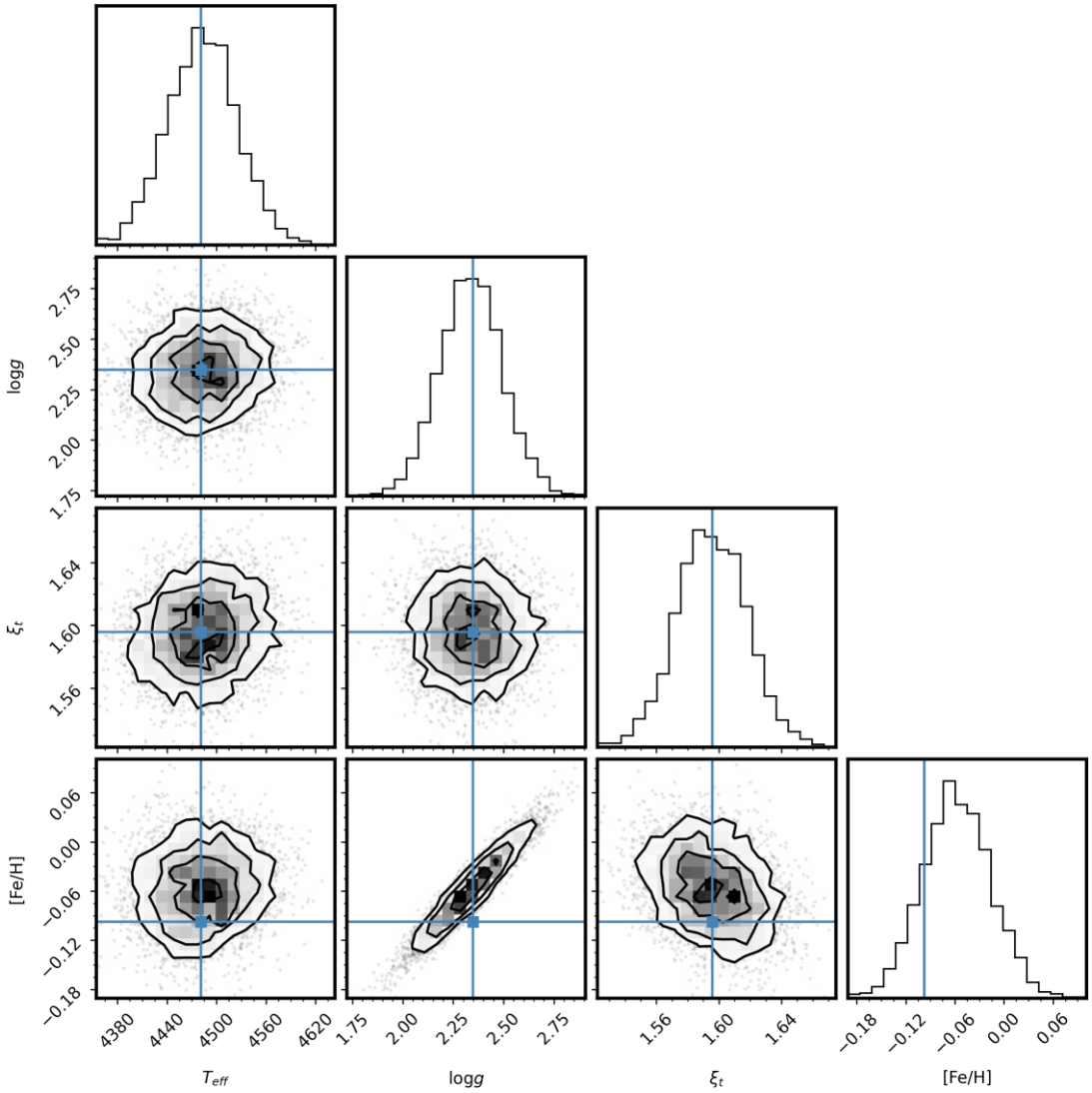
Şekil 4.31 HD 60935 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



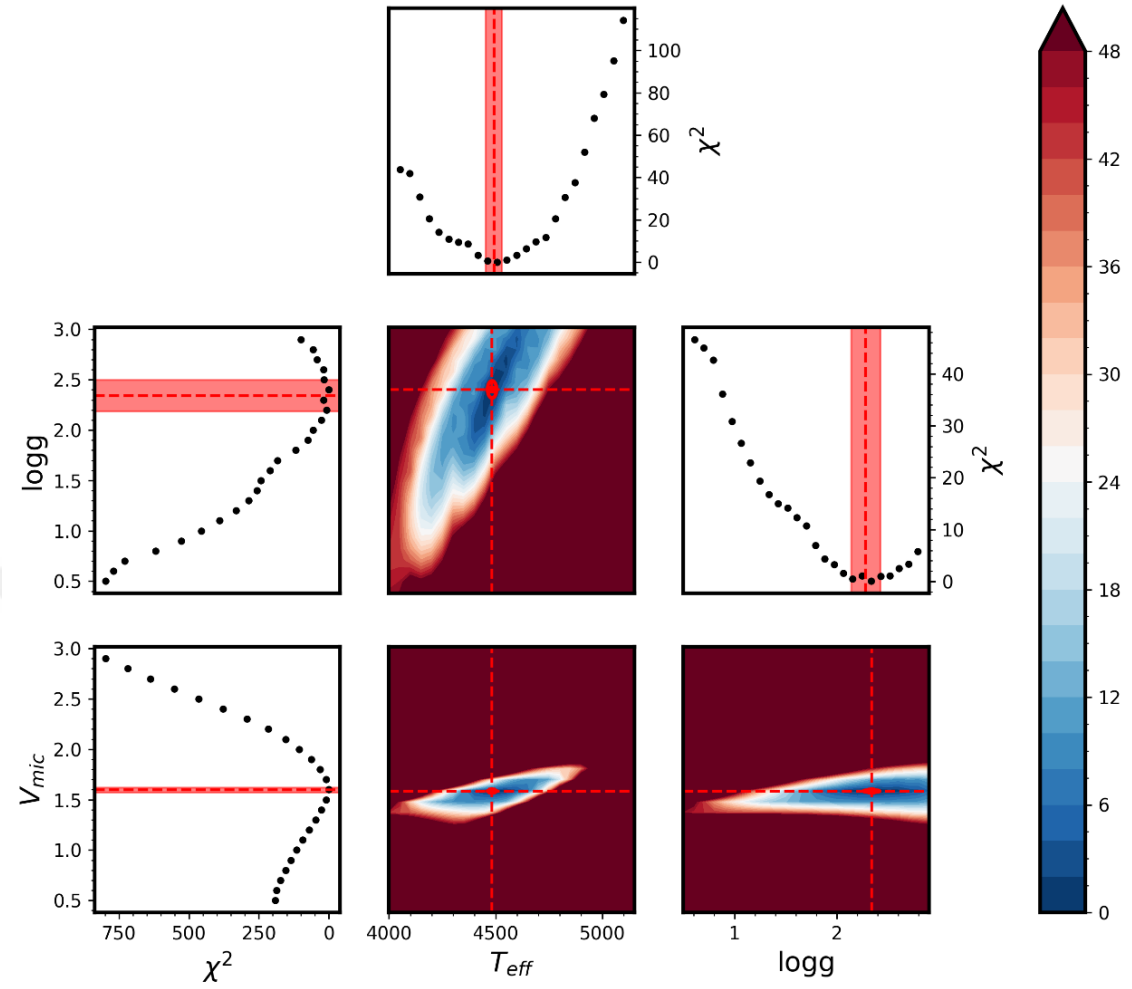
Şekil 4.32 HD 60935 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.33 HD 60935 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



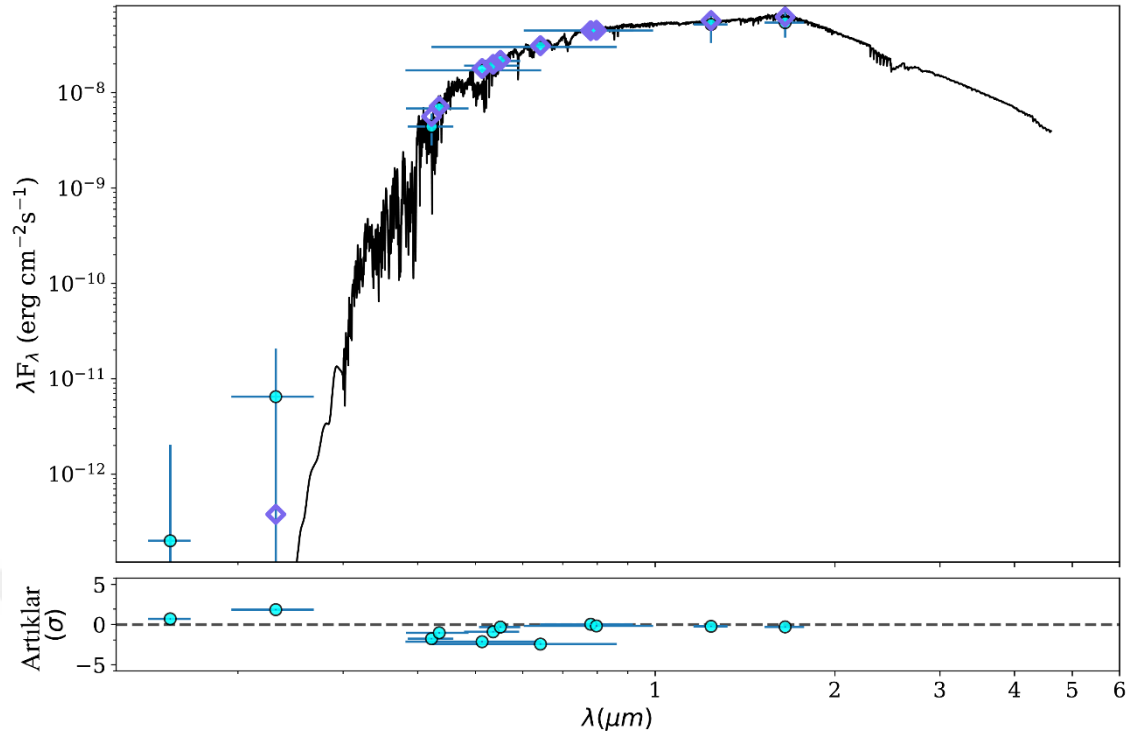
Şekil 4.34 HD 60935 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



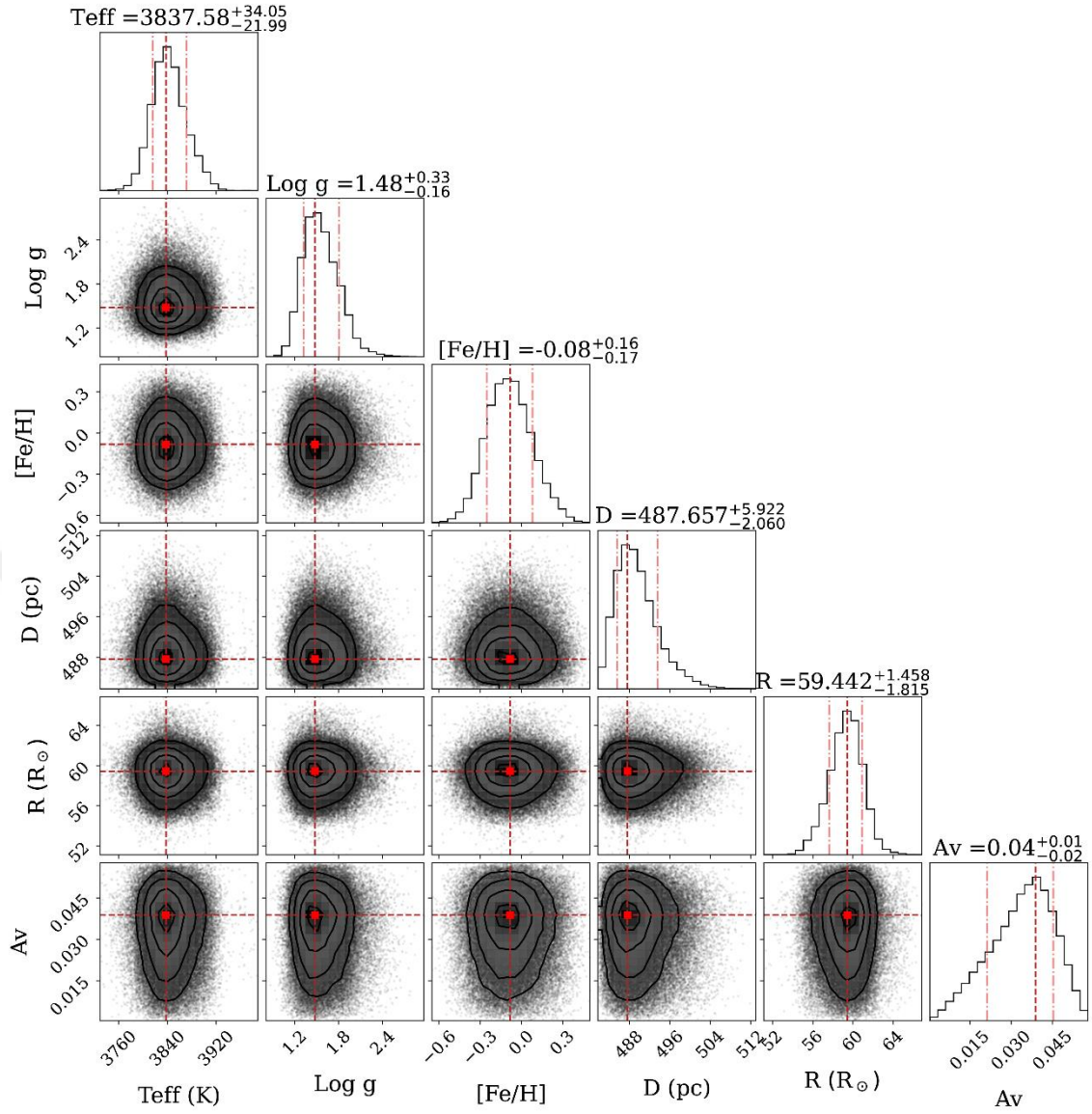
Şekil 4.35 HD 60935 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.8 HD 74653 yıldızının atmosfer parametreleri

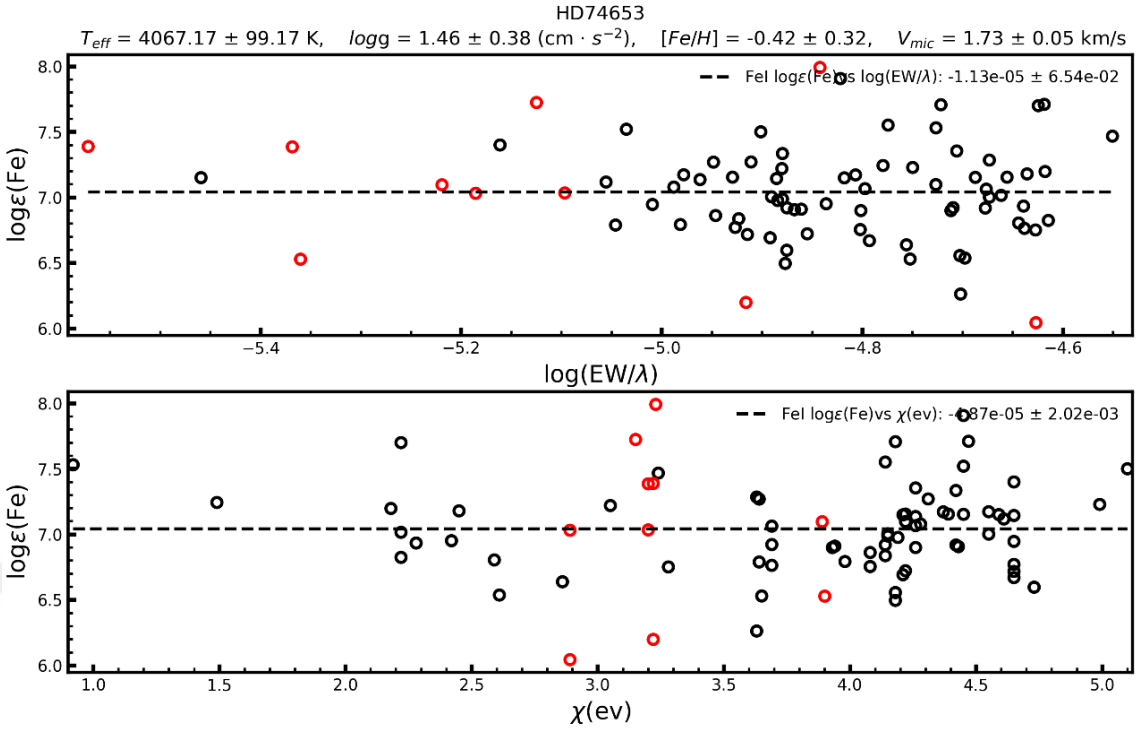
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.36 ve şekil 4.37'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.38, 4.39 ve 4.40'da sunuldu.



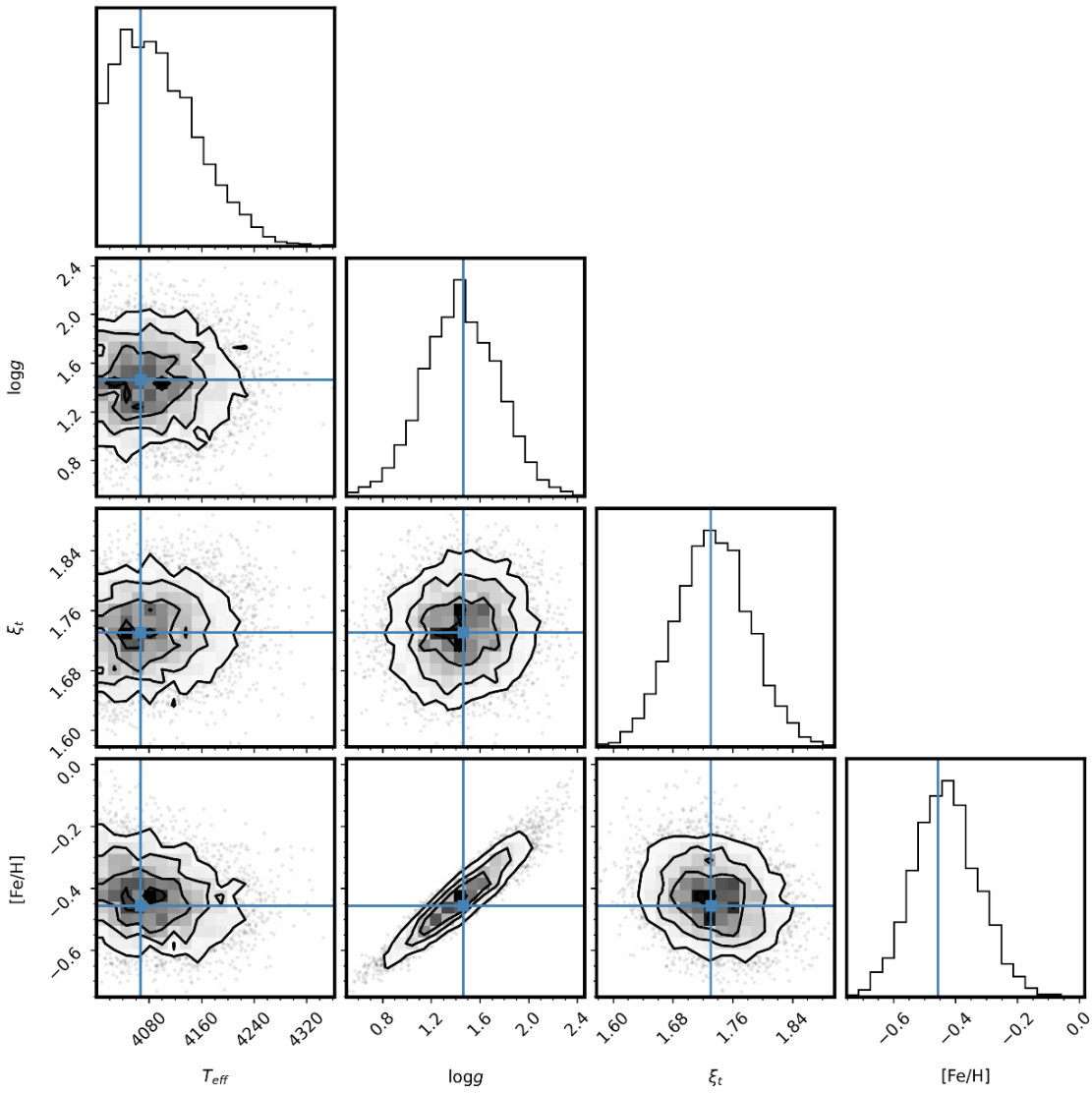
Şekil 4.36 HD 74653 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



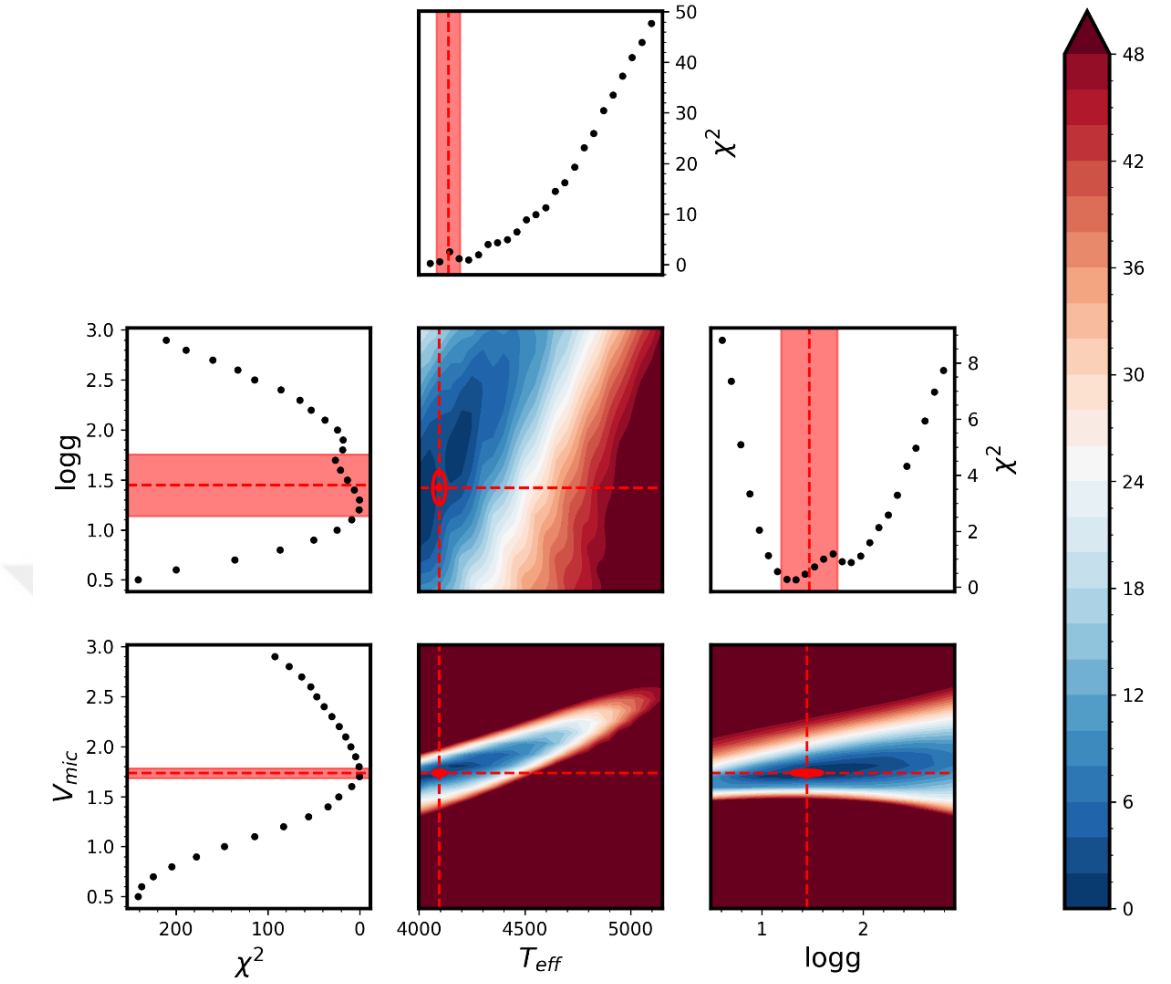
Şekil 4.37 HD 74653 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.38 HD 74653 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



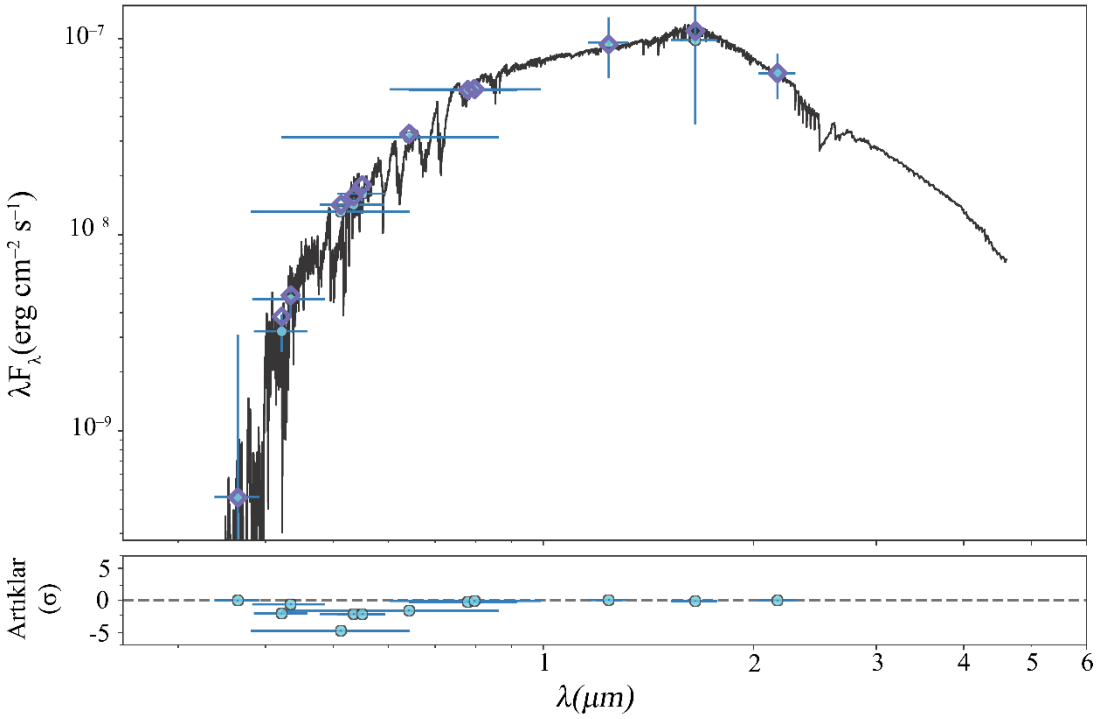
Şekil 4.39 HD 74653 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



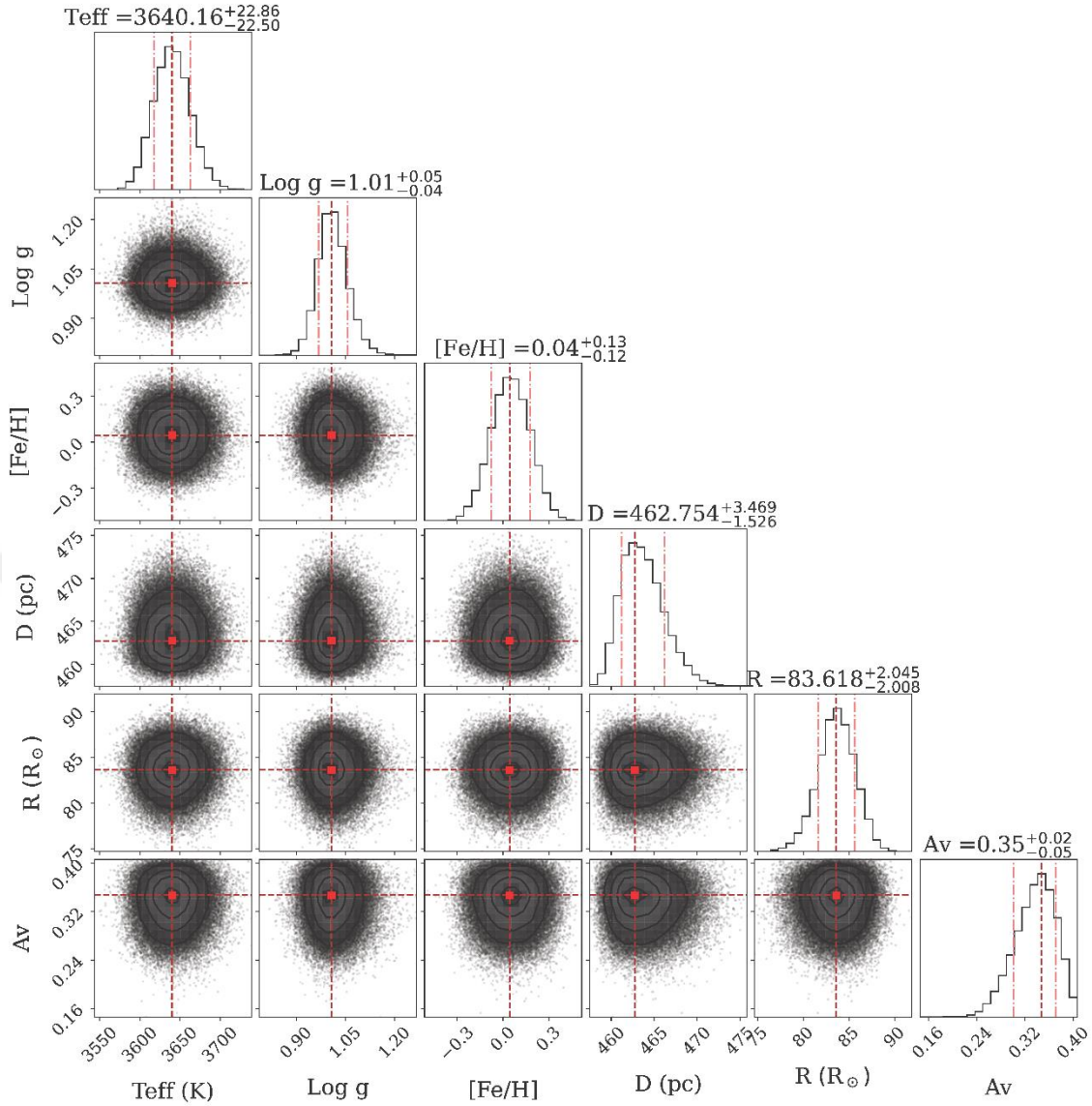
Şekil 4.40 HD 74653 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.9 HD 177697 yıldızının atmosfer parametreleri

Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.41 ve şekil 4.42'de verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinden herhangi bir sonuç bulunamadı.



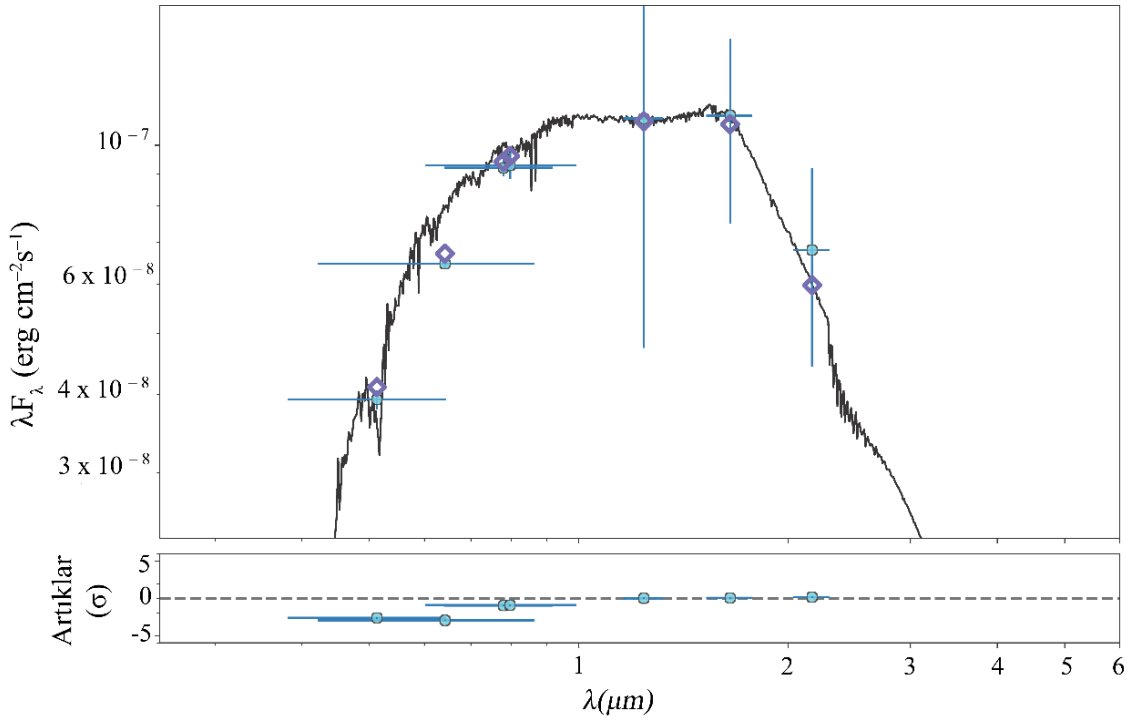
Şekil 4.41 HD 177697 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



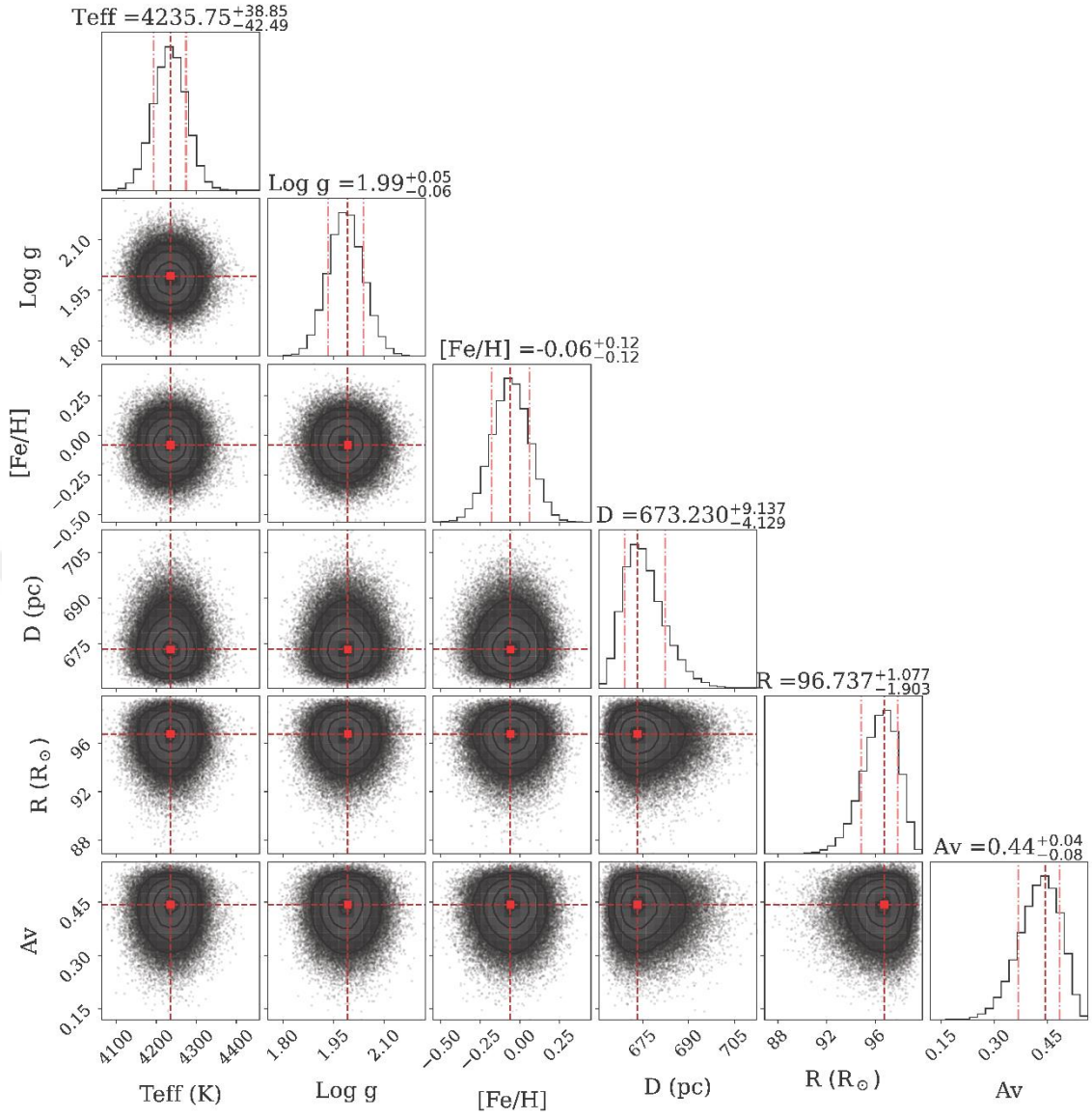
Şekil 4.42 HD 177697 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği

4.1.10 HD 187734 yıldızının atmosfer parametreleri

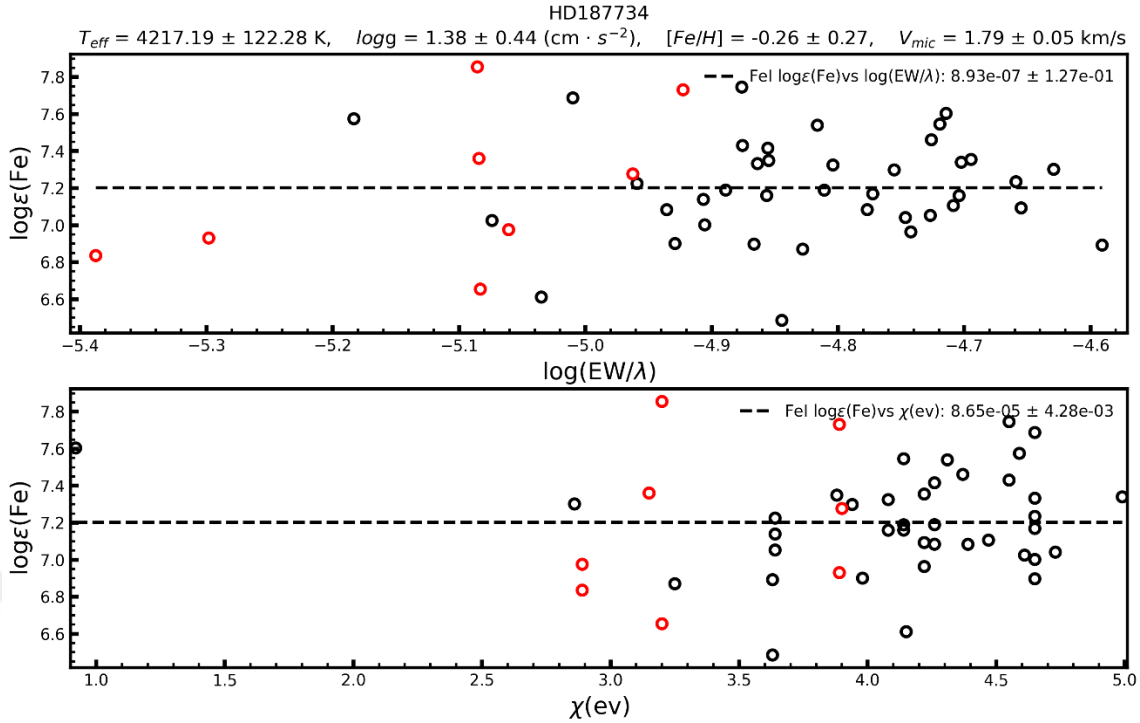
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.43 ve şekil 4.44'te verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.45, 4.46 ve 4.47'de sunuldu.



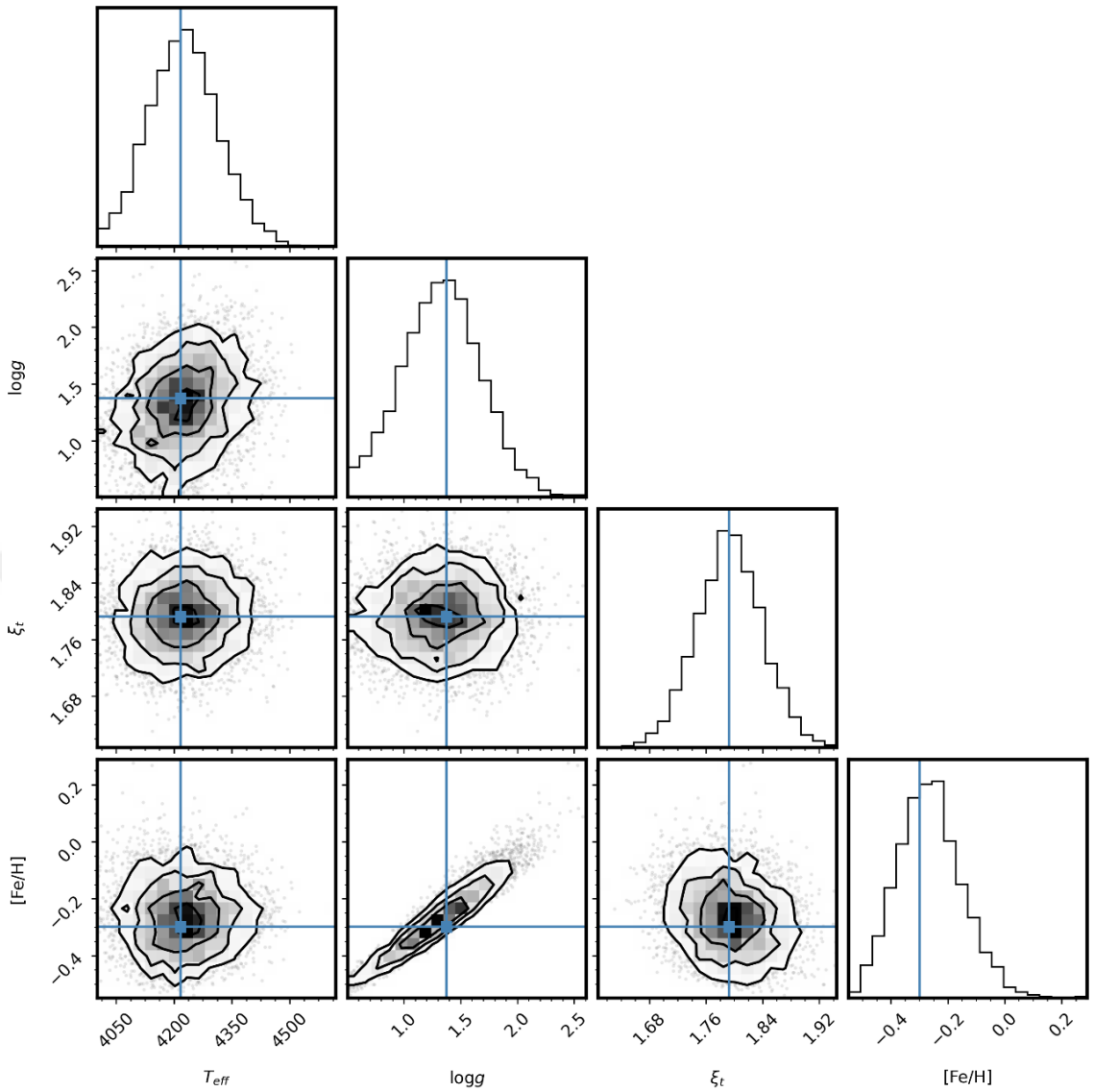
Şekil 4.43 HD 187734 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



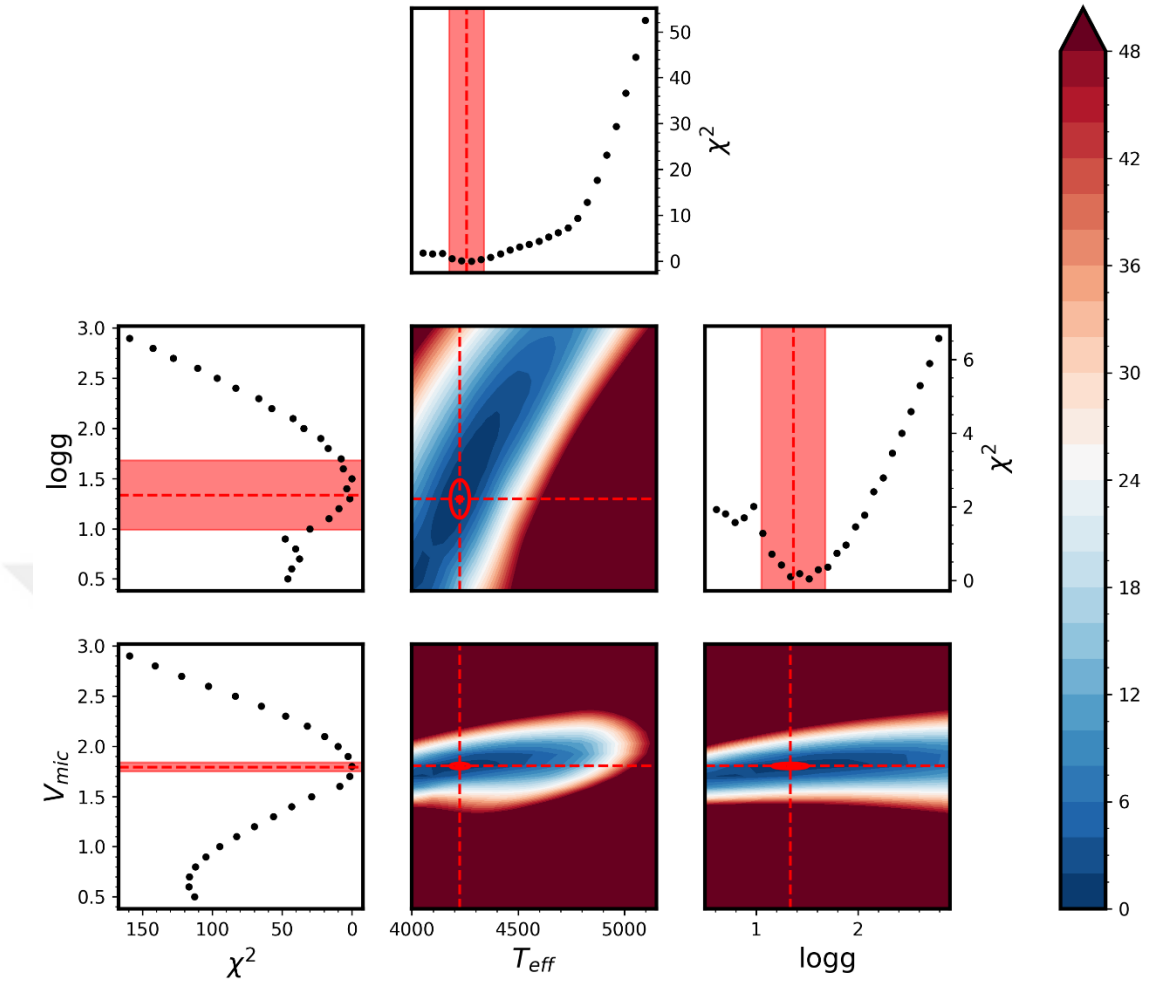
Şekil 4.44 HD 187734 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.45 HD 187734 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



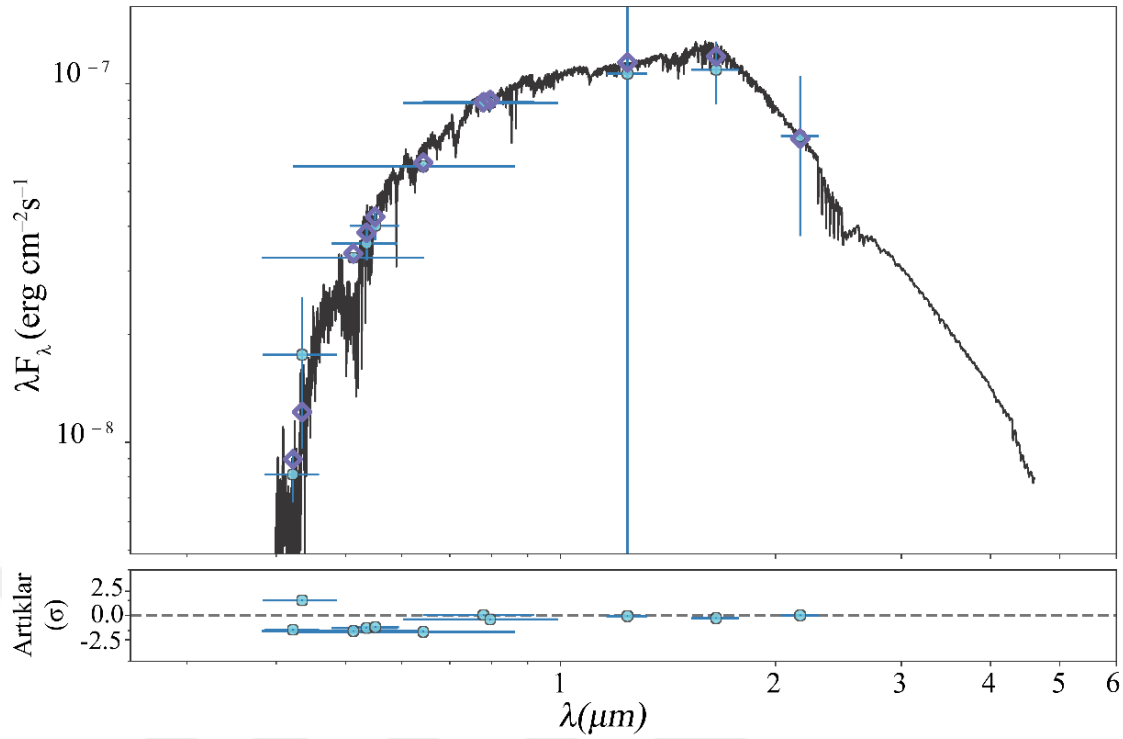
Şekil 4.46 HD 187734 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



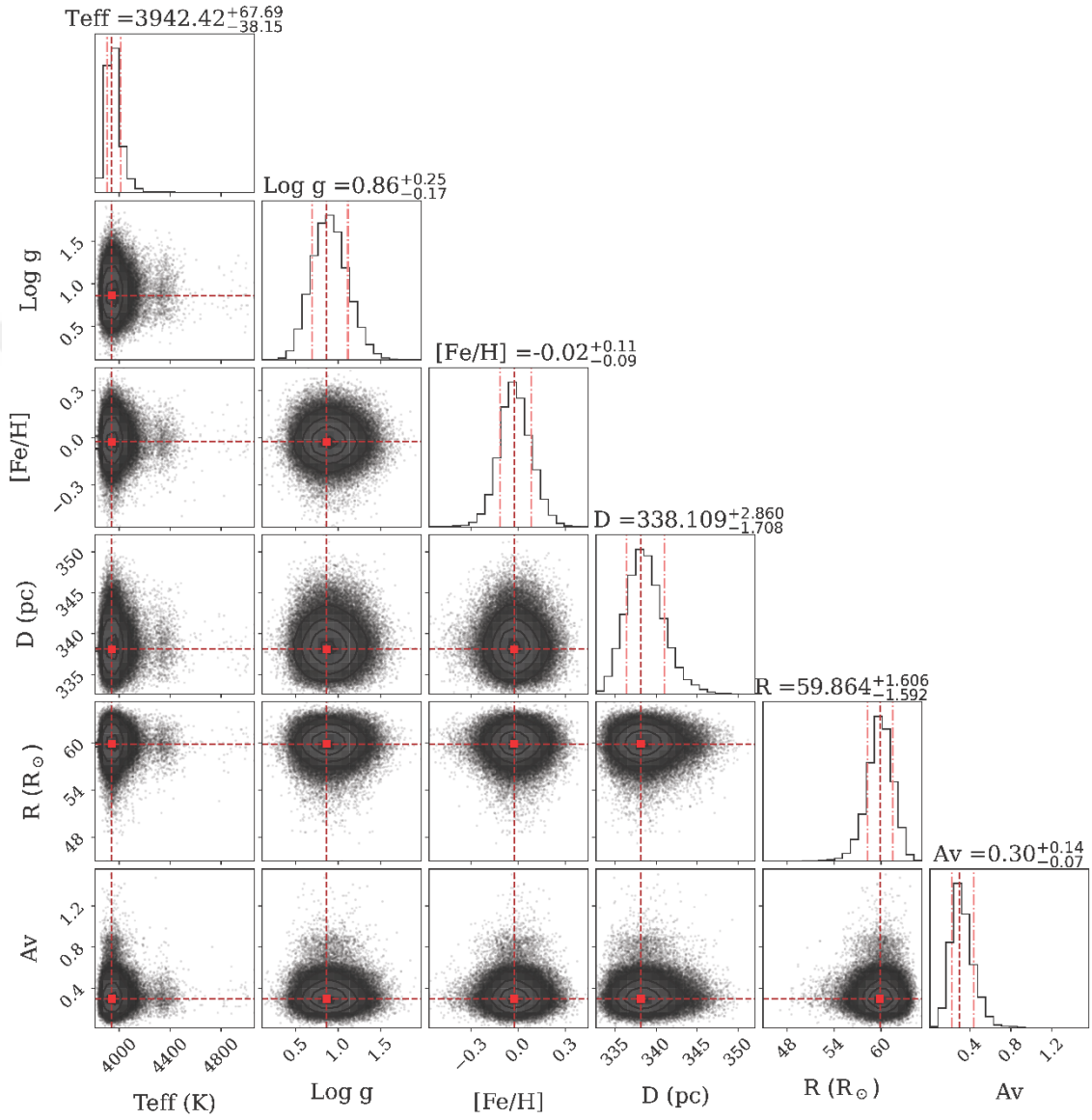
Şekil 4.47 HD 187734 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.11 HD 188484 yıldızının atmosfer parametreleri

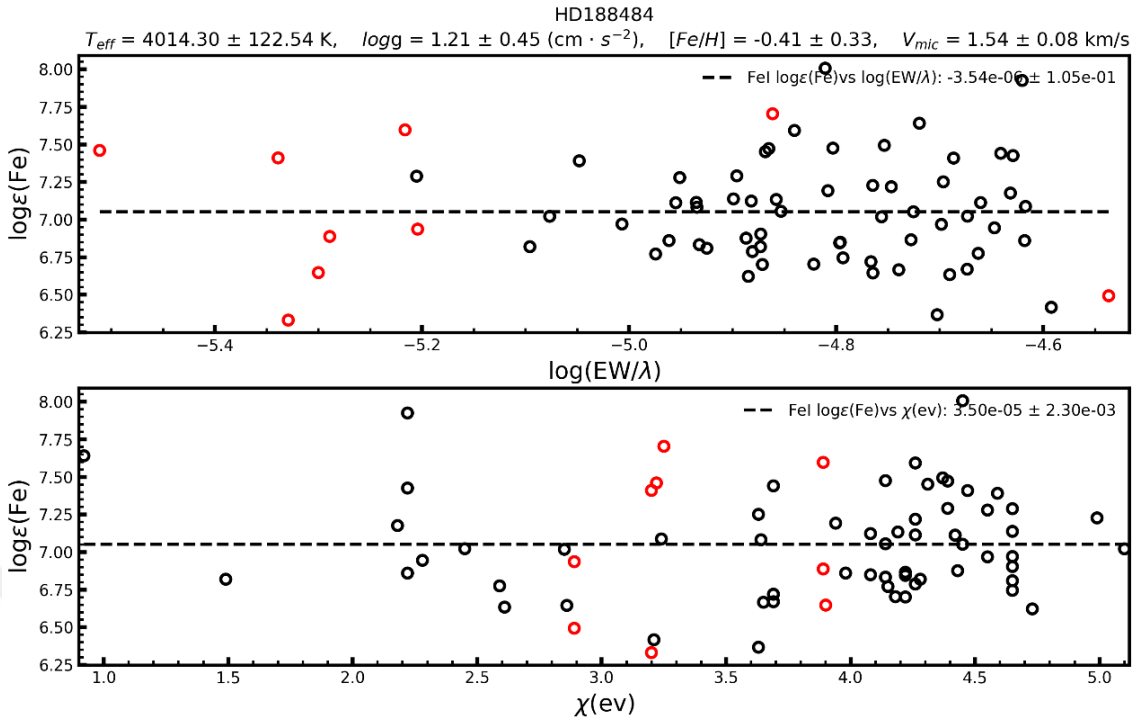
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.48 ve şekil 4.49'da verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.50, 4.51 ve 4.52'de sunuldu.



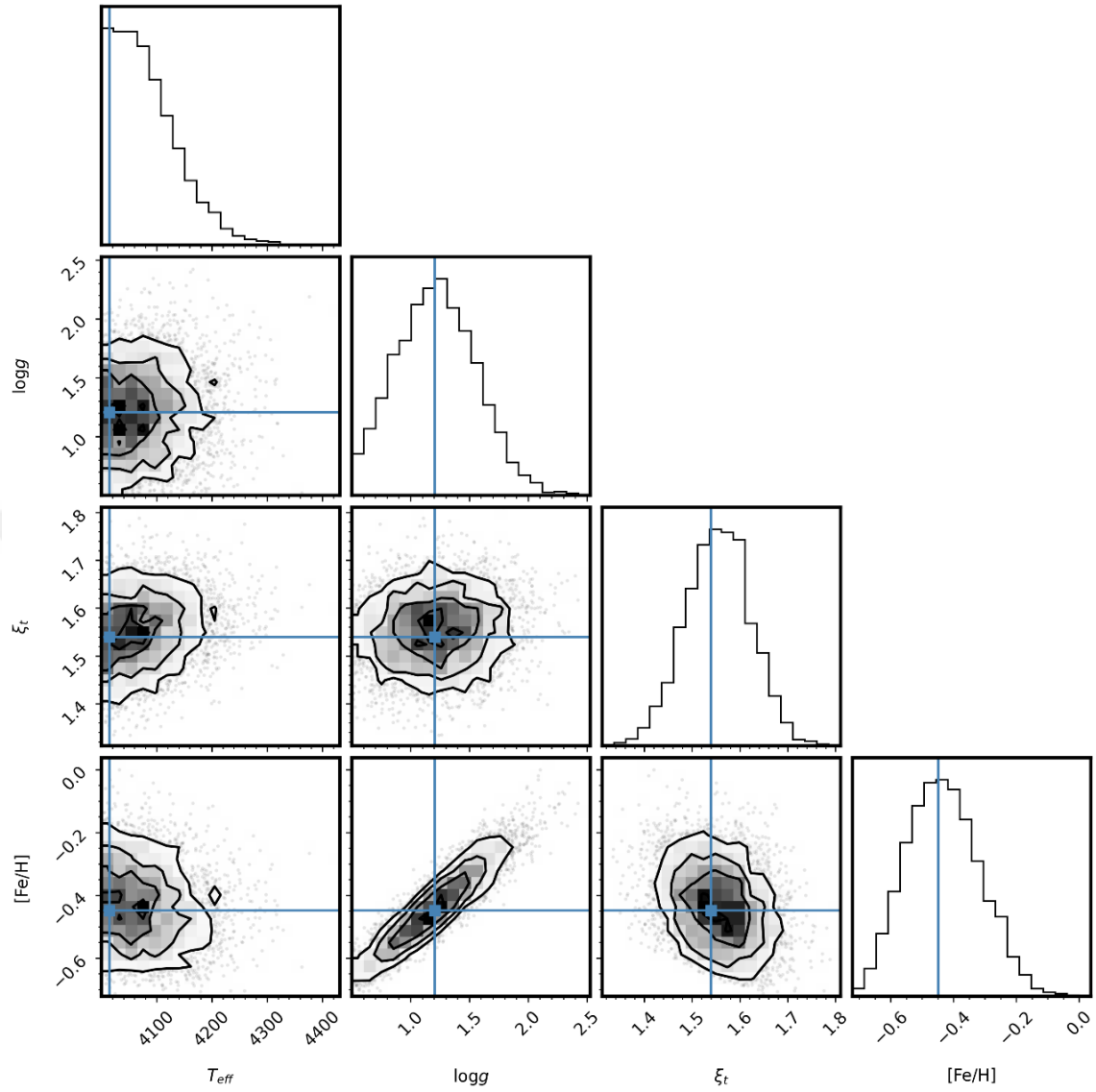
Şekil 4.48 HD 188484 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



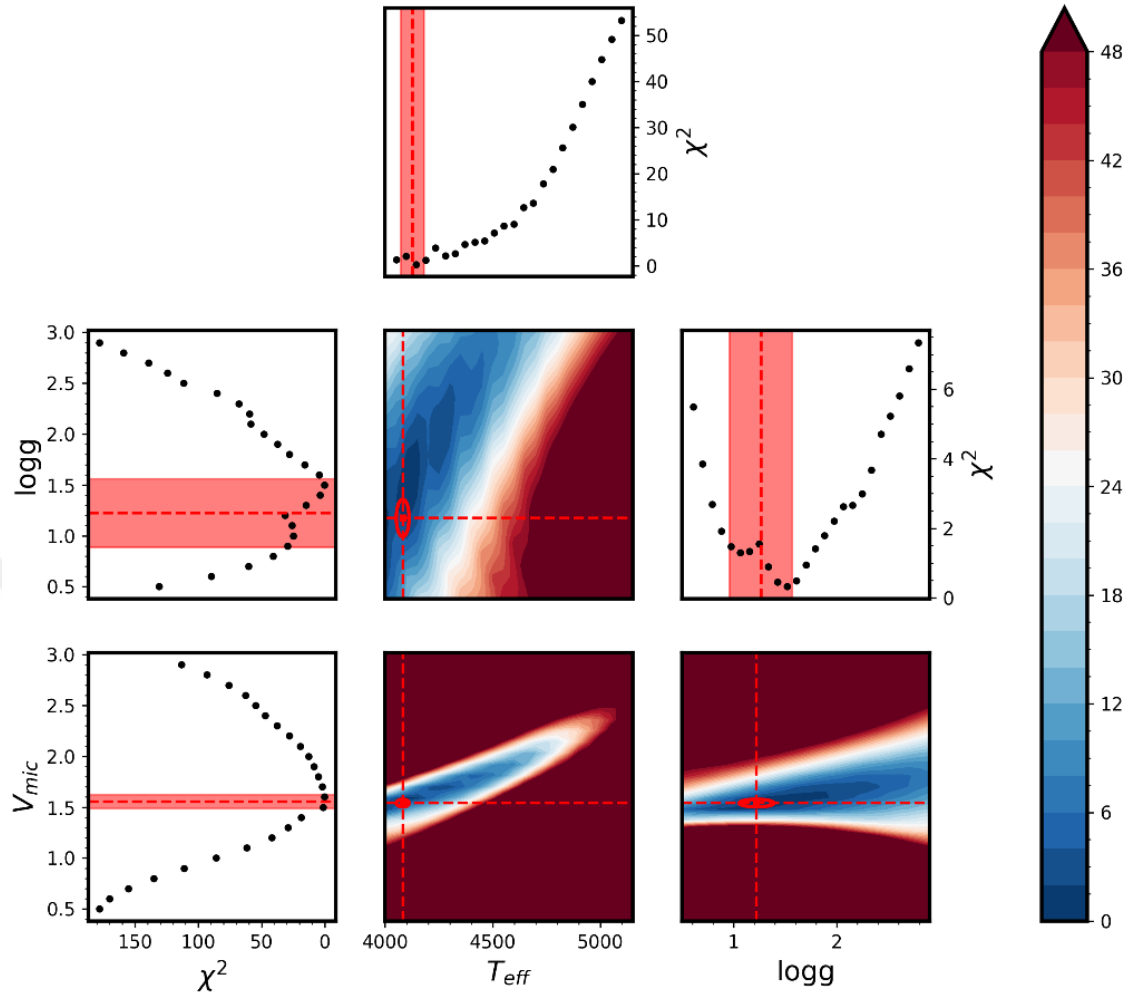
Şekil 4.49 HD 188484 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.50 HD 188484 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



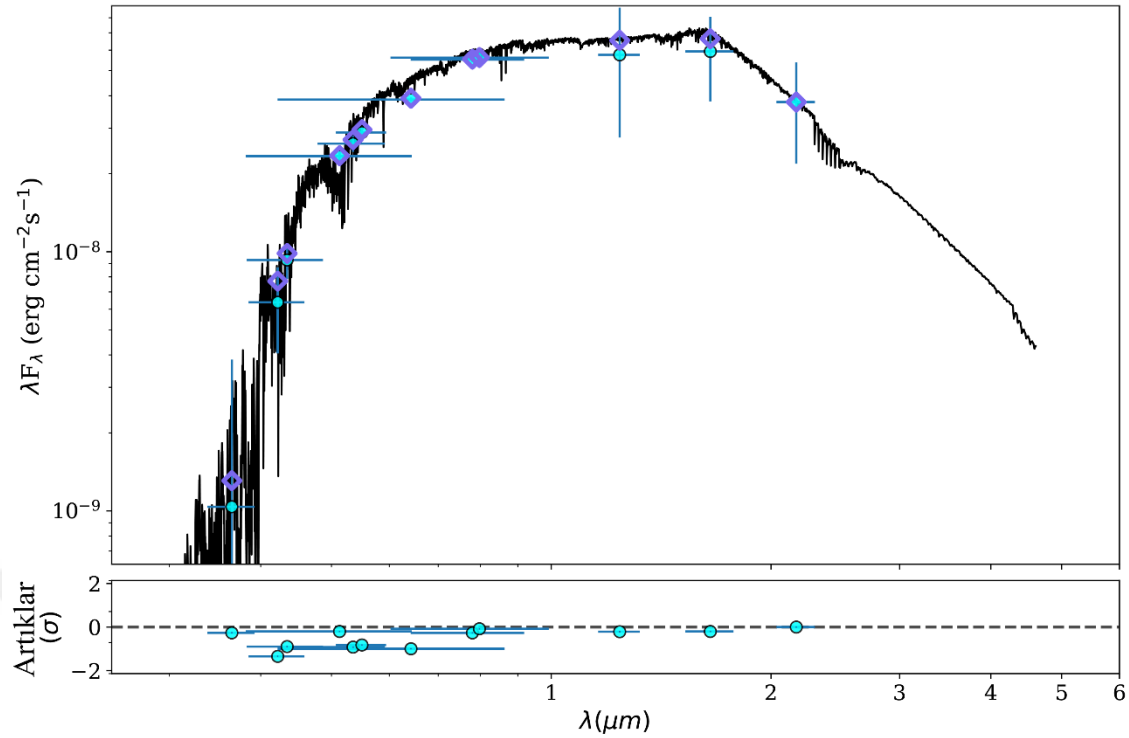
Şekil 4.51 HD 188484 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



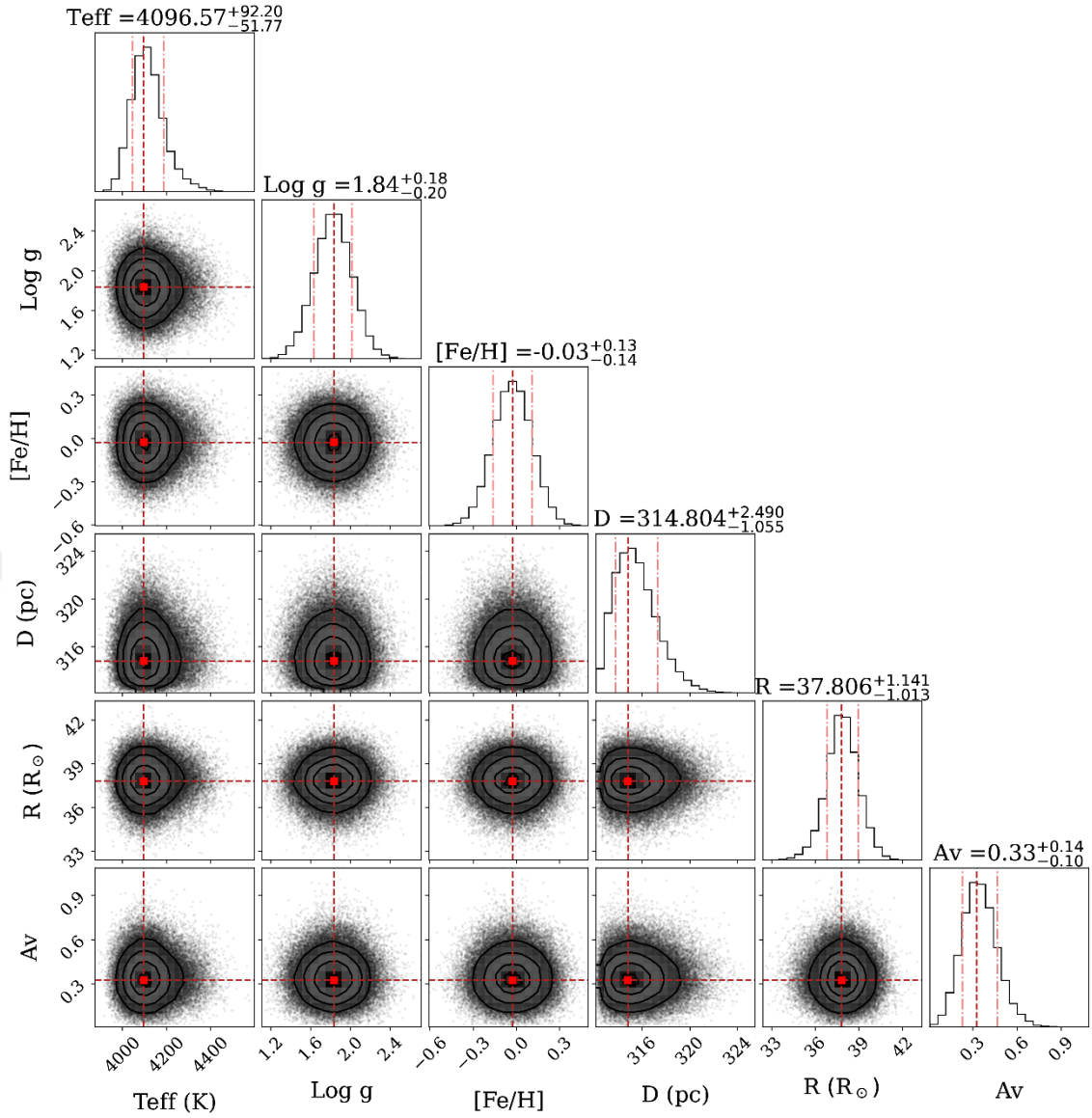
Şekil 4.52 HD 188484 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.12 HD 193090 yıldızının atmosfer parametreleri

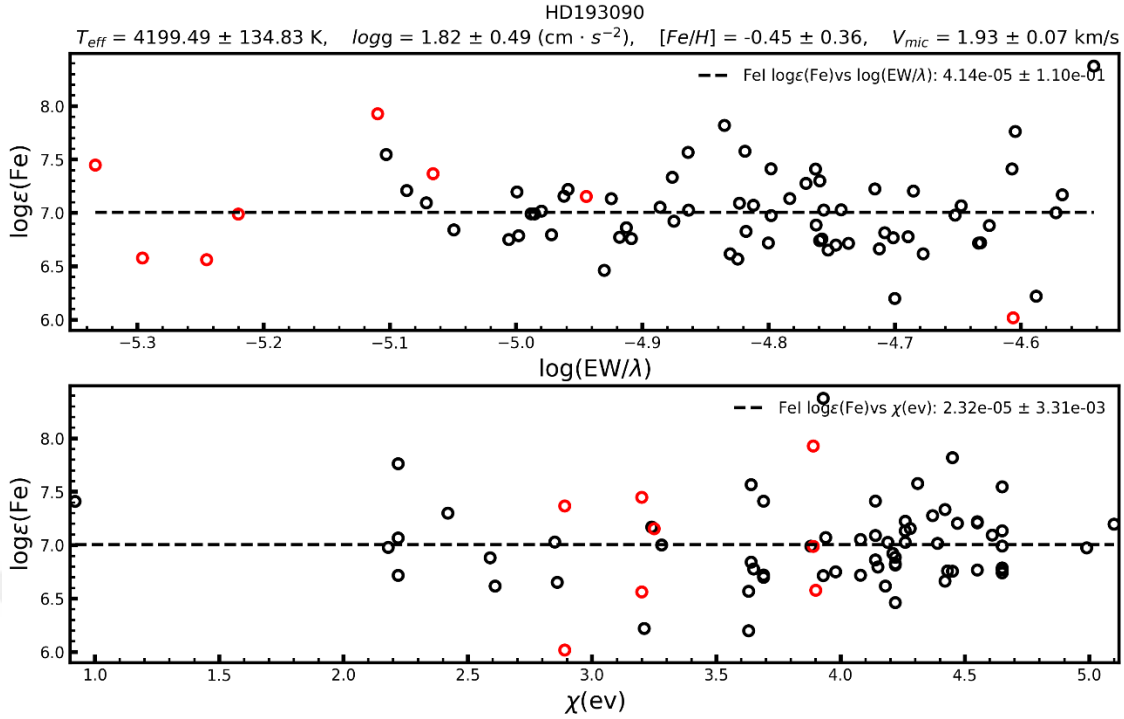
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.53 ve şekil 4.54'te verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.55, 4.56 ve 4.57'de sunuldu.



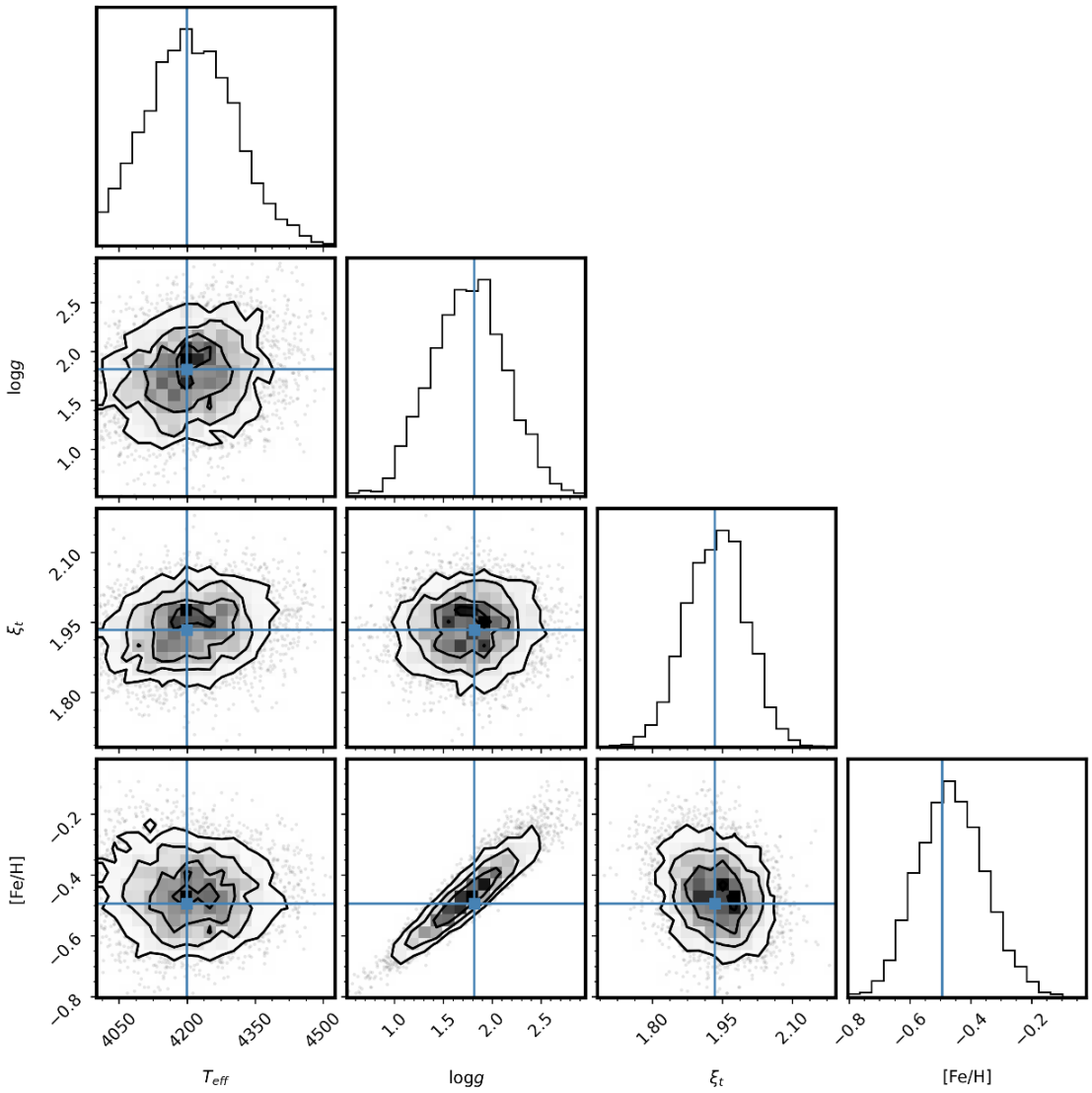
Şekil 4.53 HD 193090 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



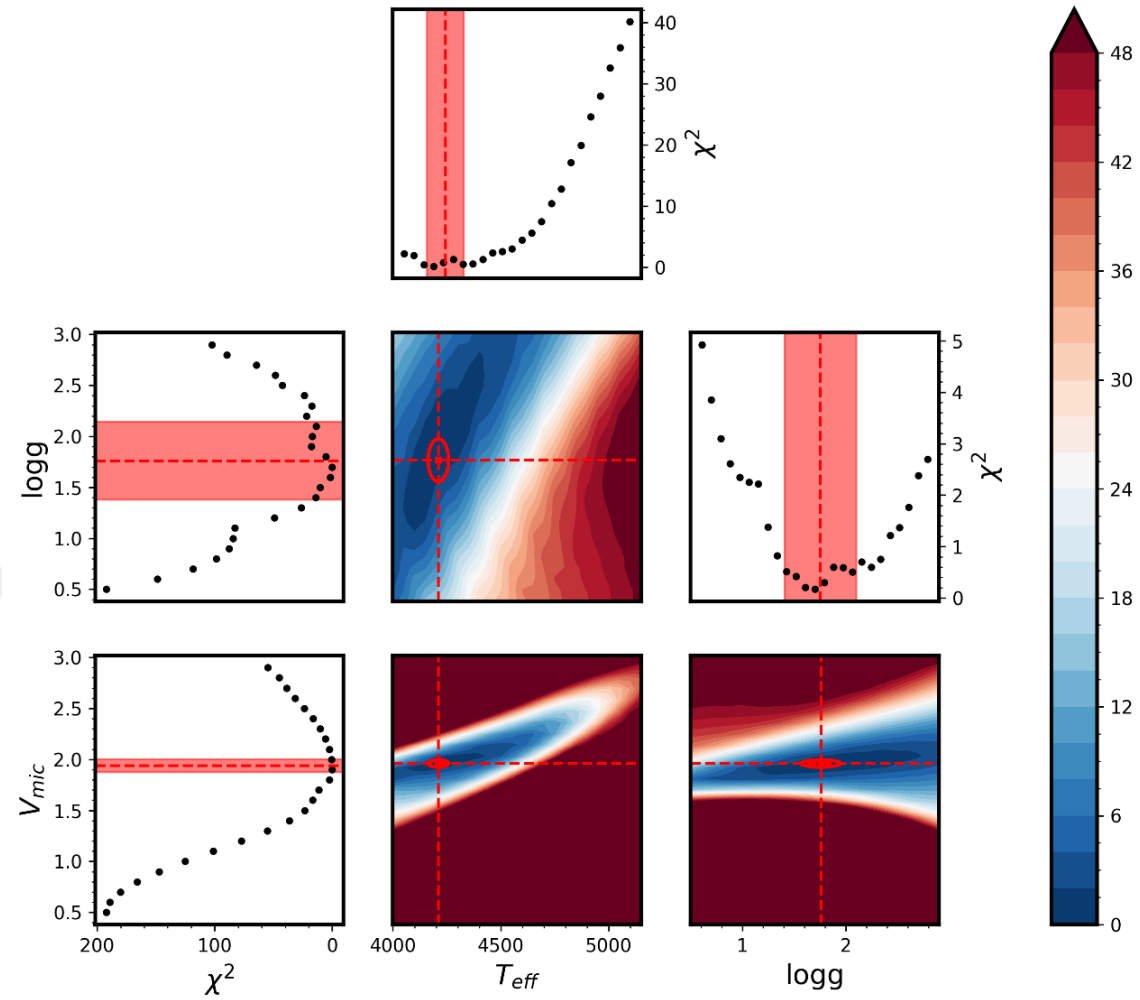
Şekil 4.54 HD 193090 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.55 HD 193090 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



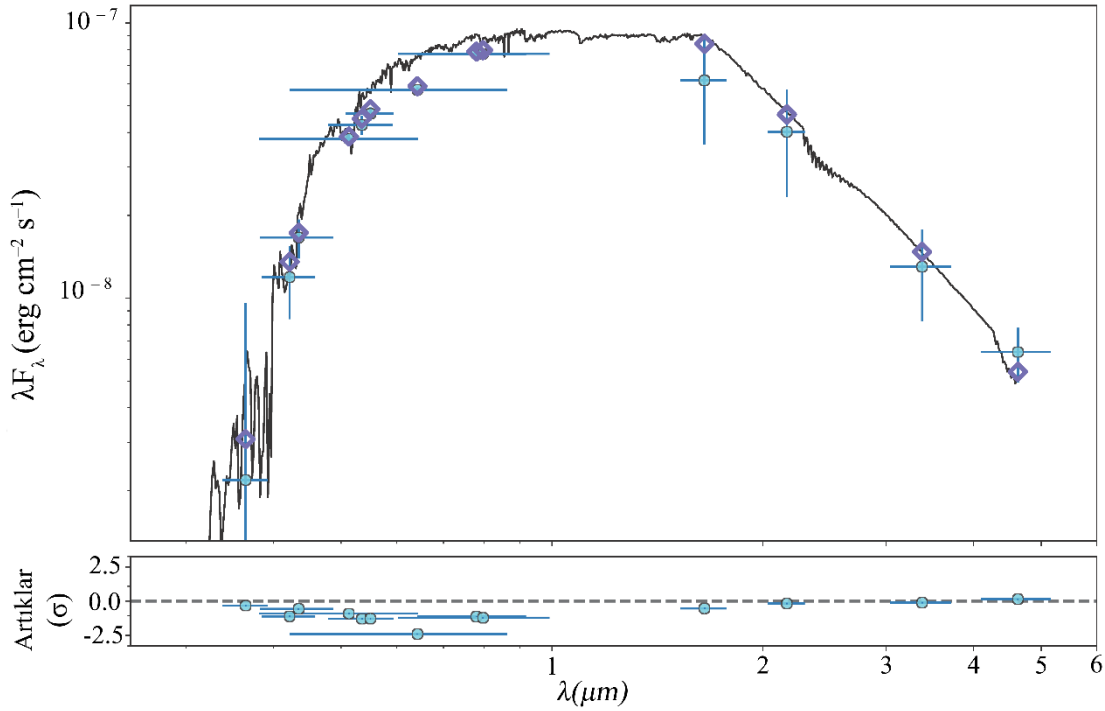
Şekil 4.56 HD 193090 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



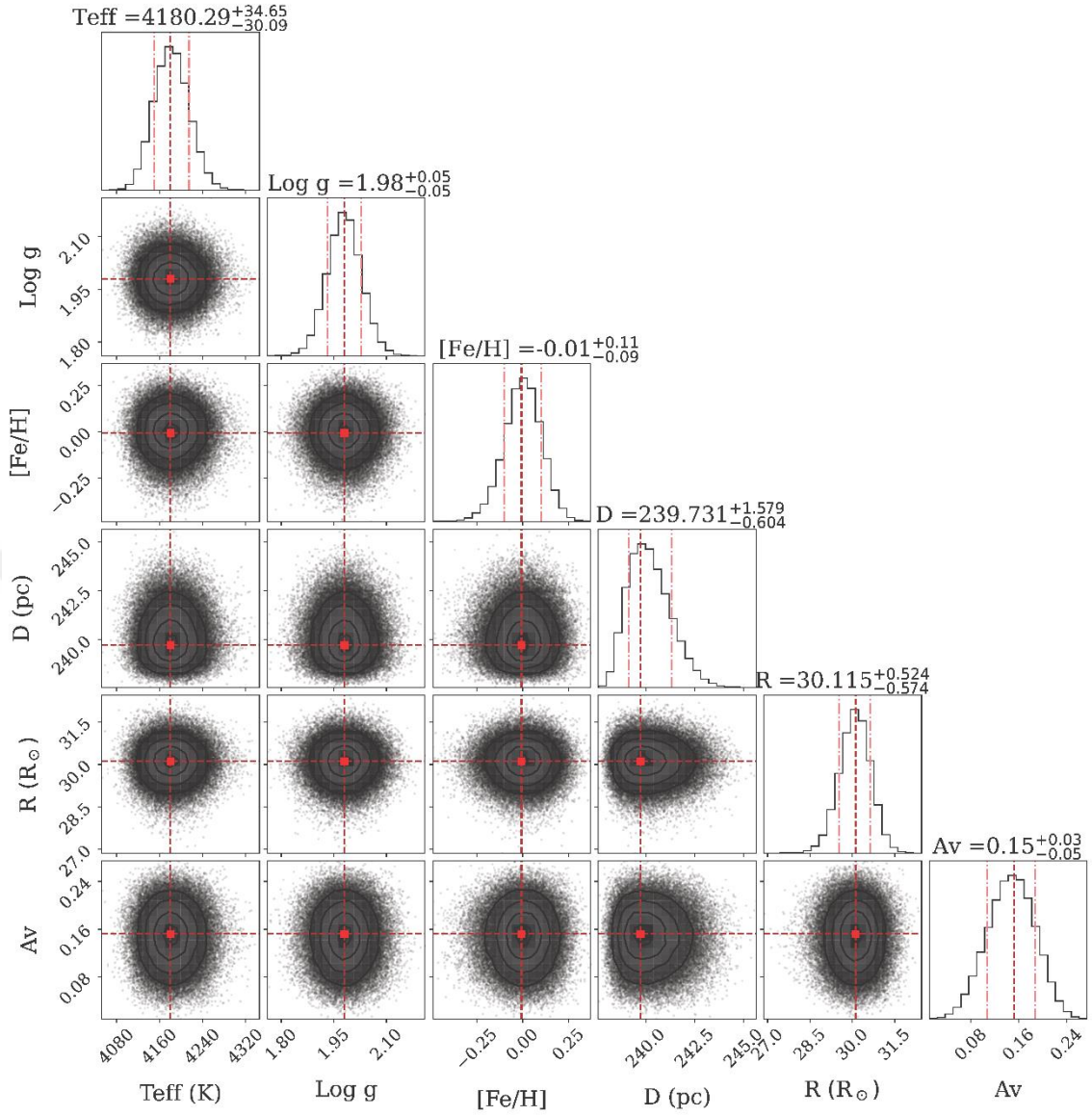
Şekil 4.57 HD 193090 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.13 HD 196345 yıldızının atmosfer parametreleri

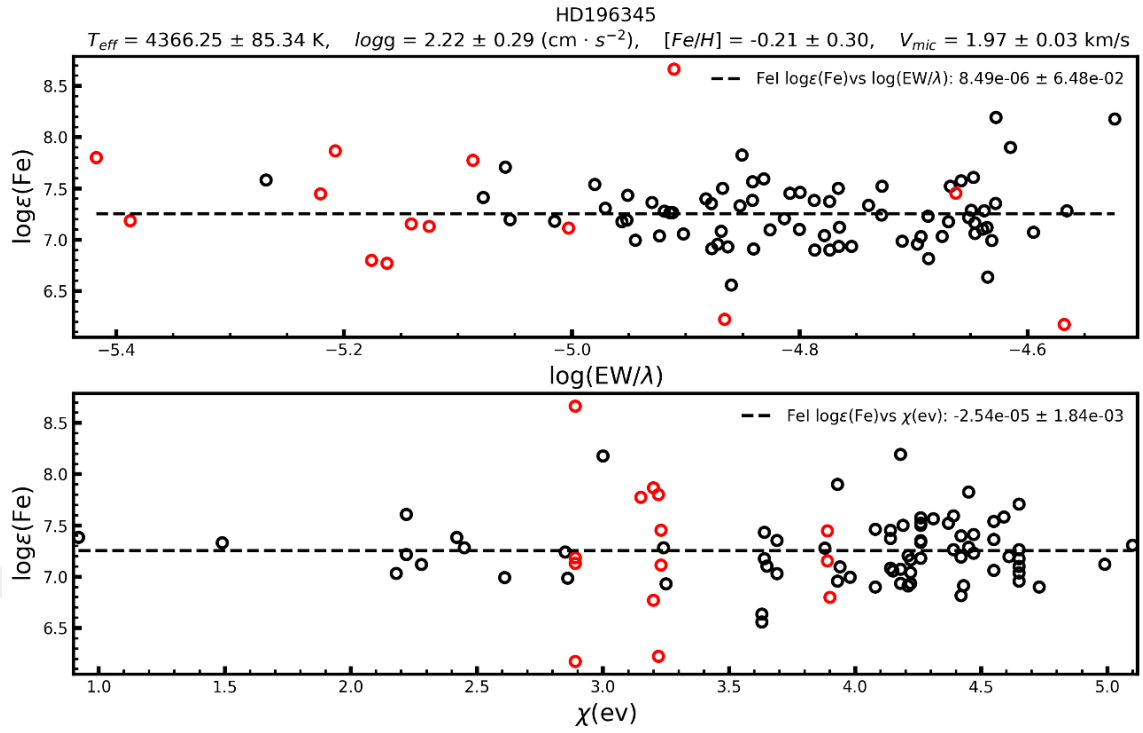
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.58 ve şekil 4.59'da verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.60, 4.61 ve 4.62'de sunuldu.



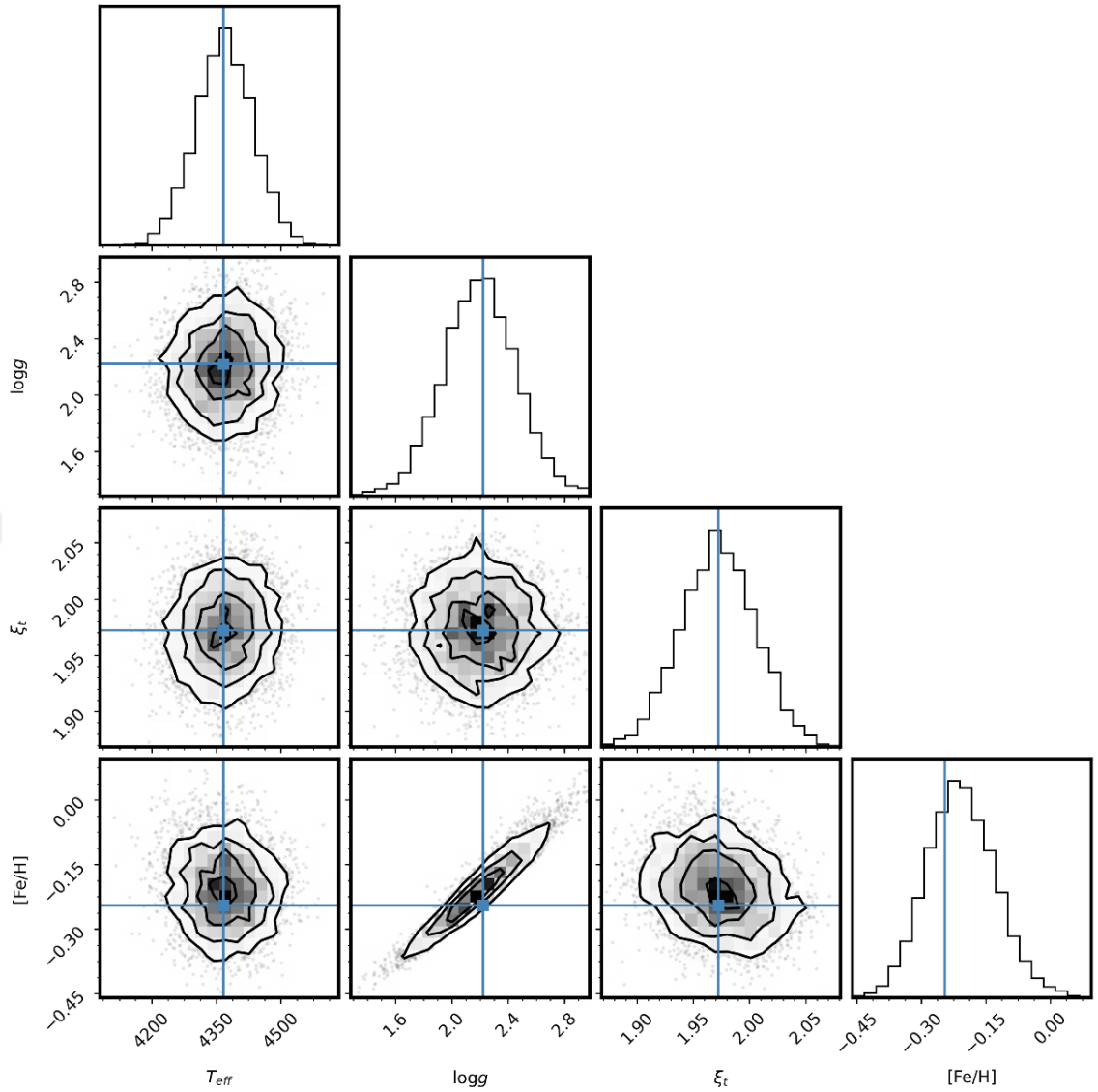
Şekil 4.58 HD 196345 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



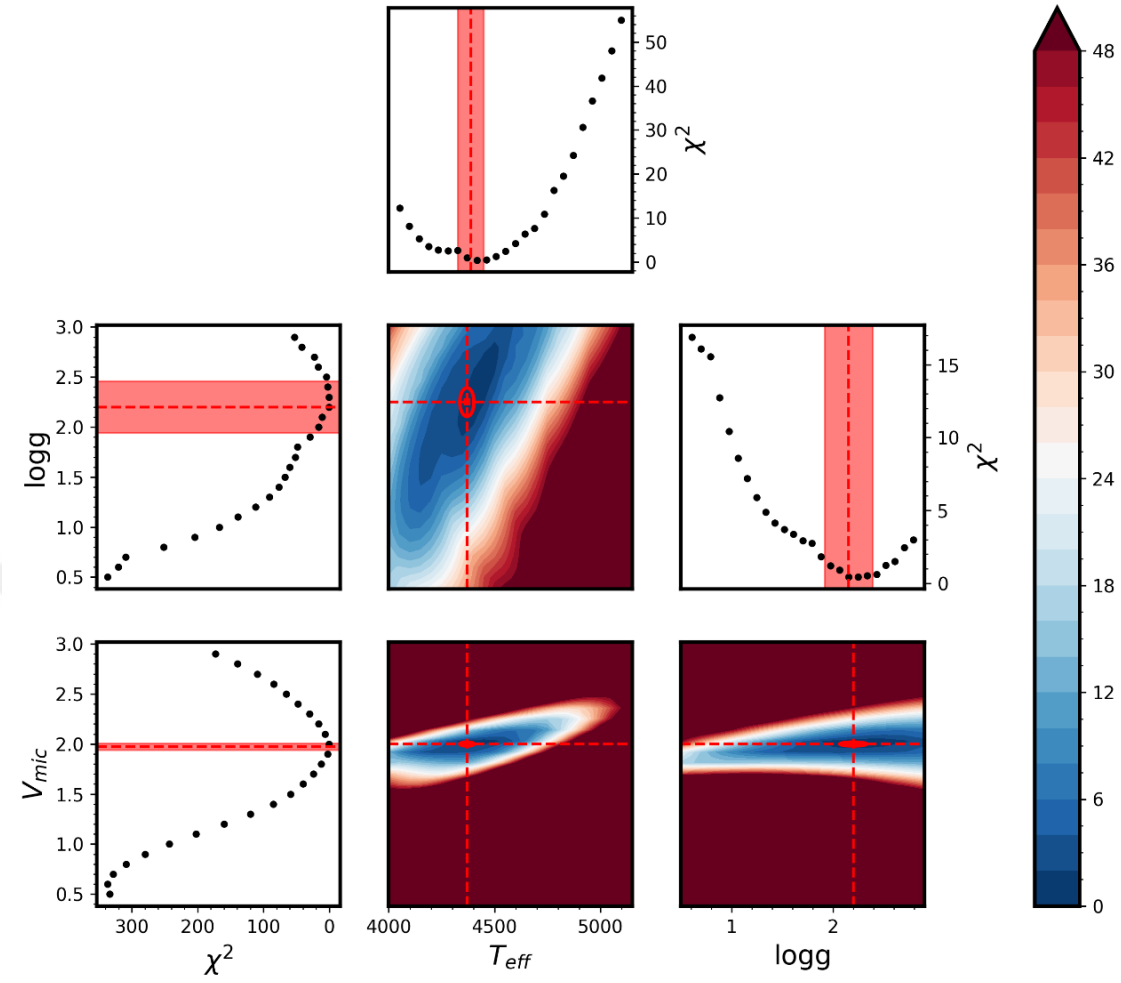
Şekil 4.59 HD 196345 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.60 HD 196345 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



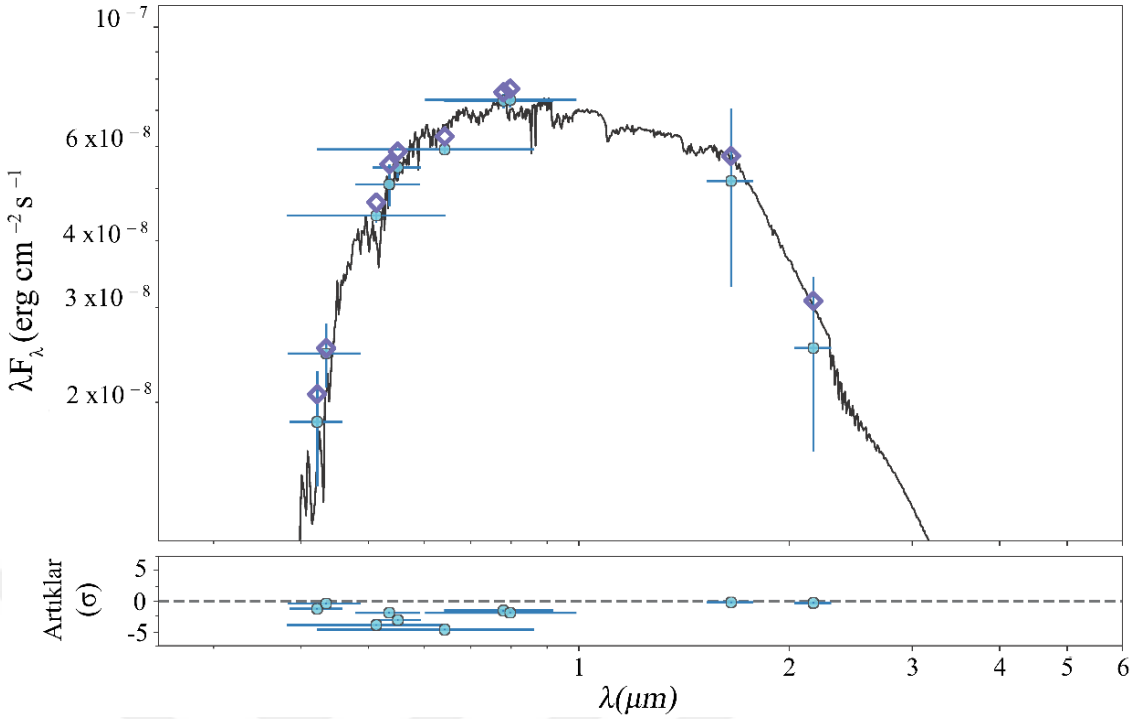
Şekil 4.61 HD 196345 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



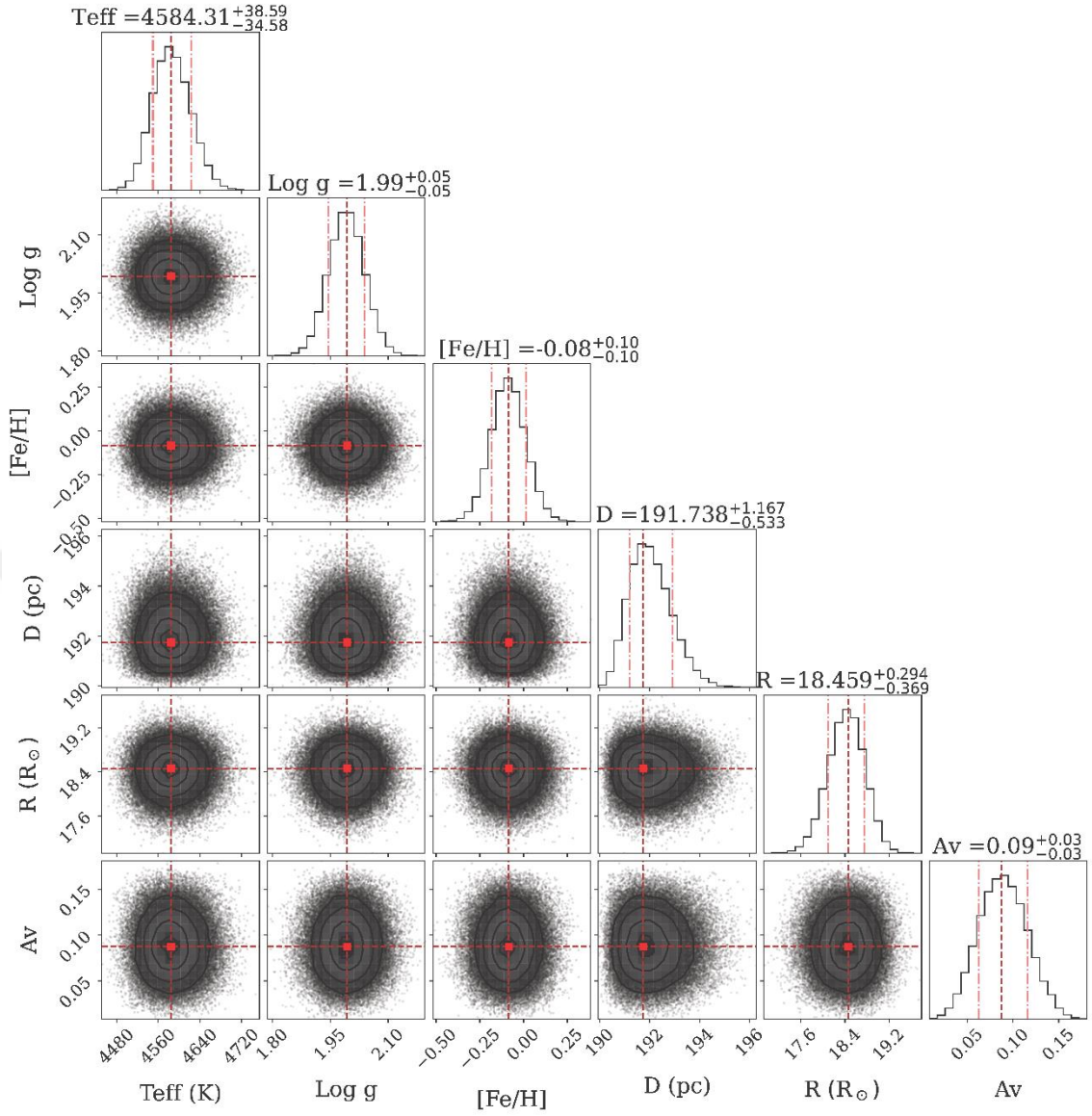
Şekil 4.62 HD 196345 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.14 HD 204603 yıldızının atmosfer parametreleri

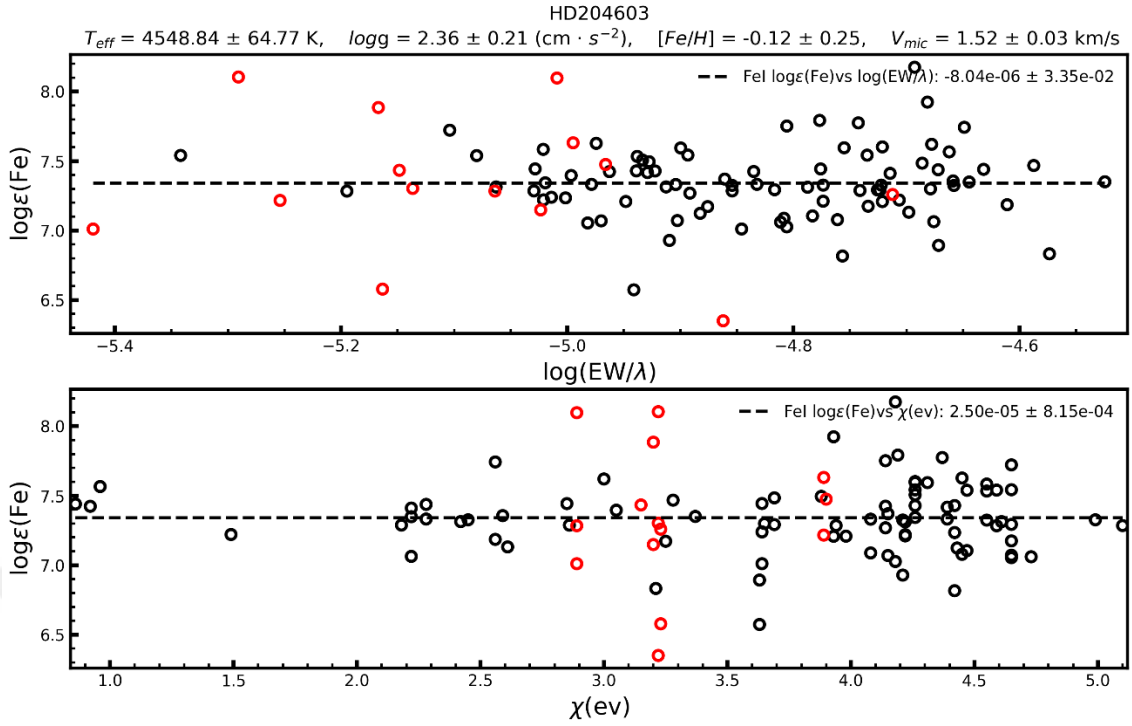
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.63 ve şekil 4.64'te verilmektedir. Yıldızın LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinde elde edilen sonuçlar şekil 4.65, 4.66 ve 4.67'de sunuldu.



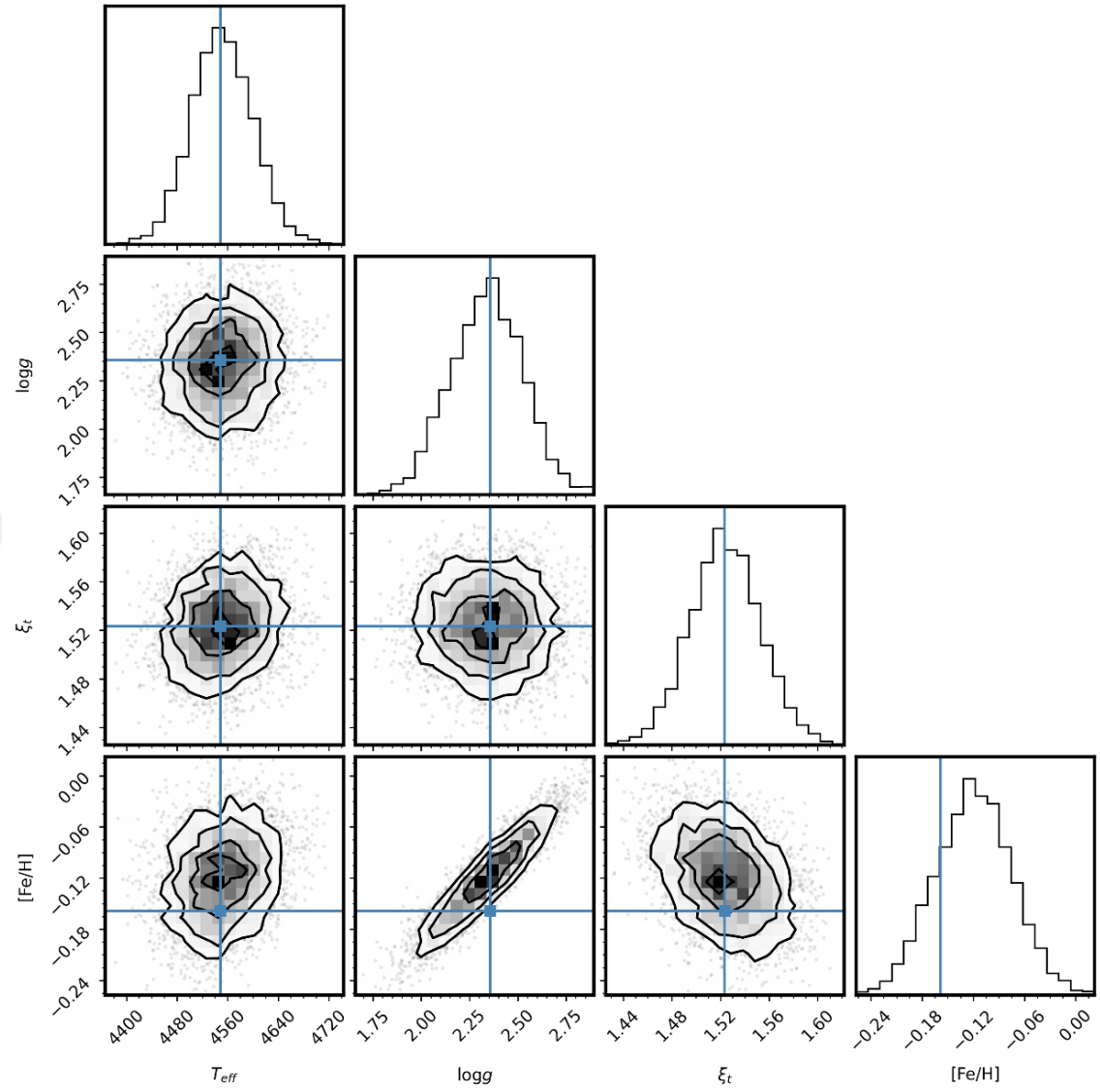
Şekil 4.63 HD 204603 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



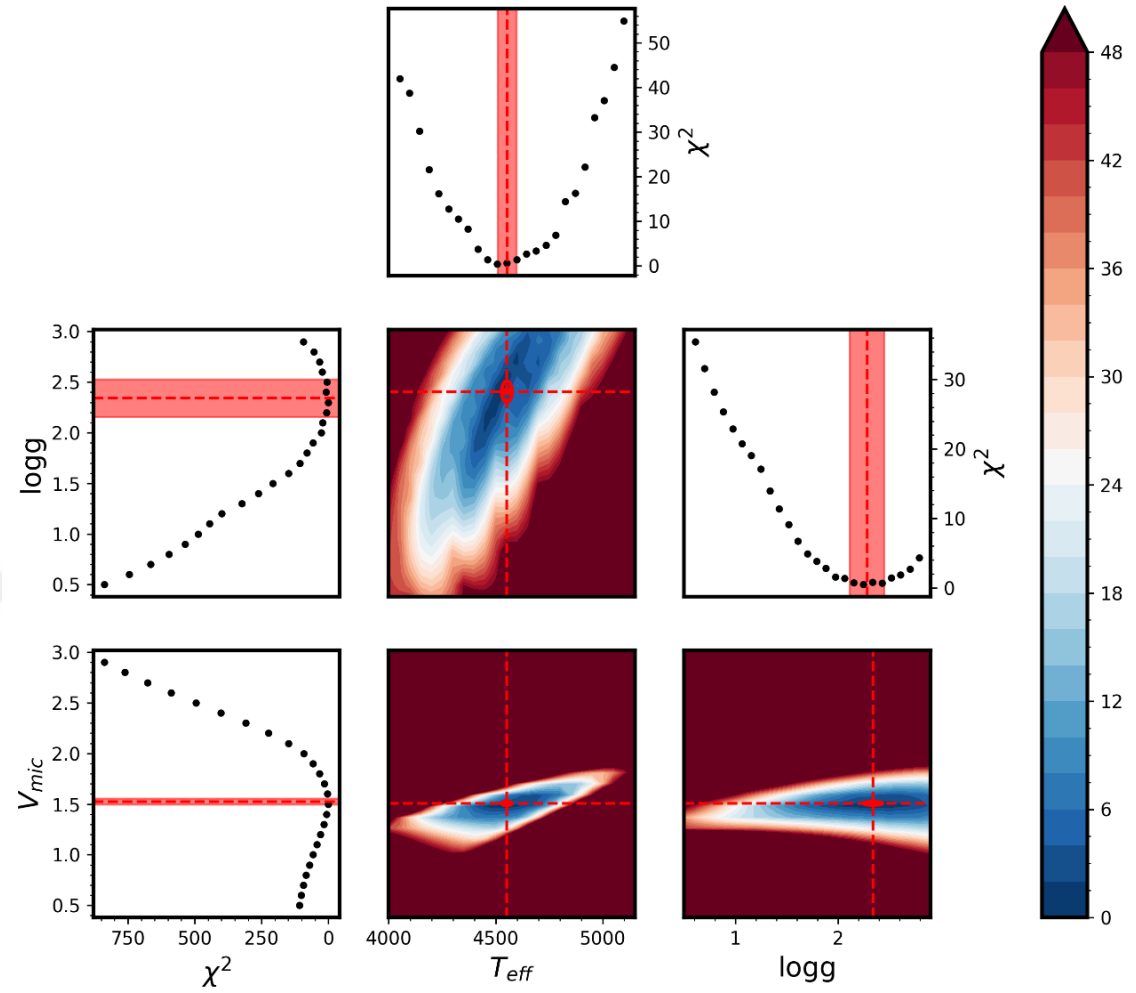
Şekil 4.64 HD 204603 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.65 HD 204603 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



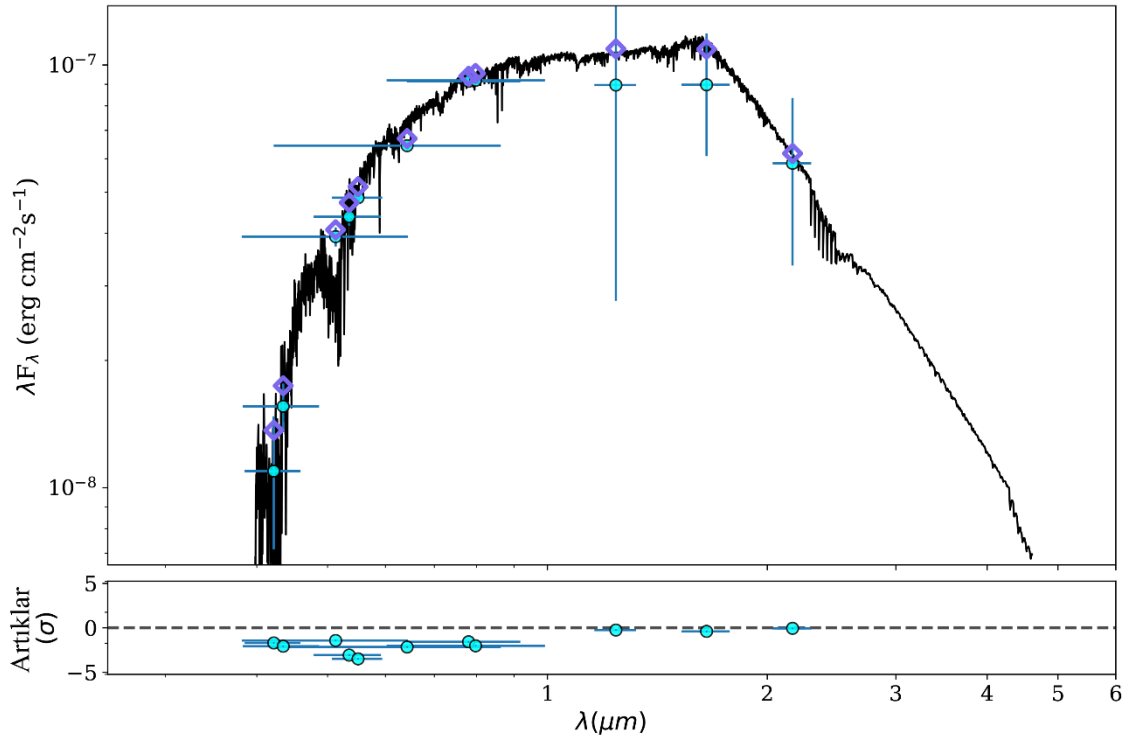
Şekil 4.66 HD 204603 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



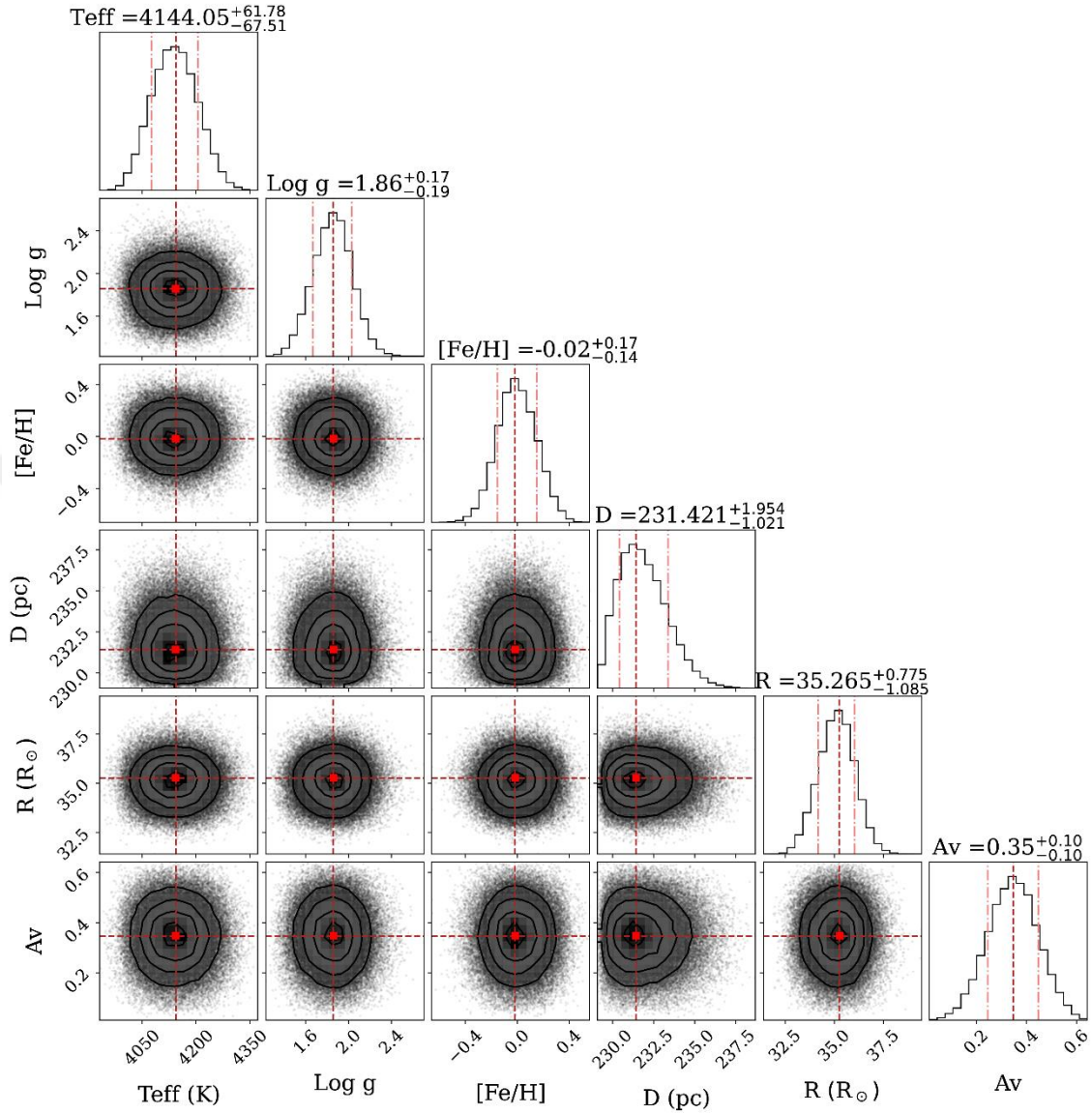
Şekil 4.67 HD 204603 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.1.15 HD 215705 yıldızının atmosfer parametreleri

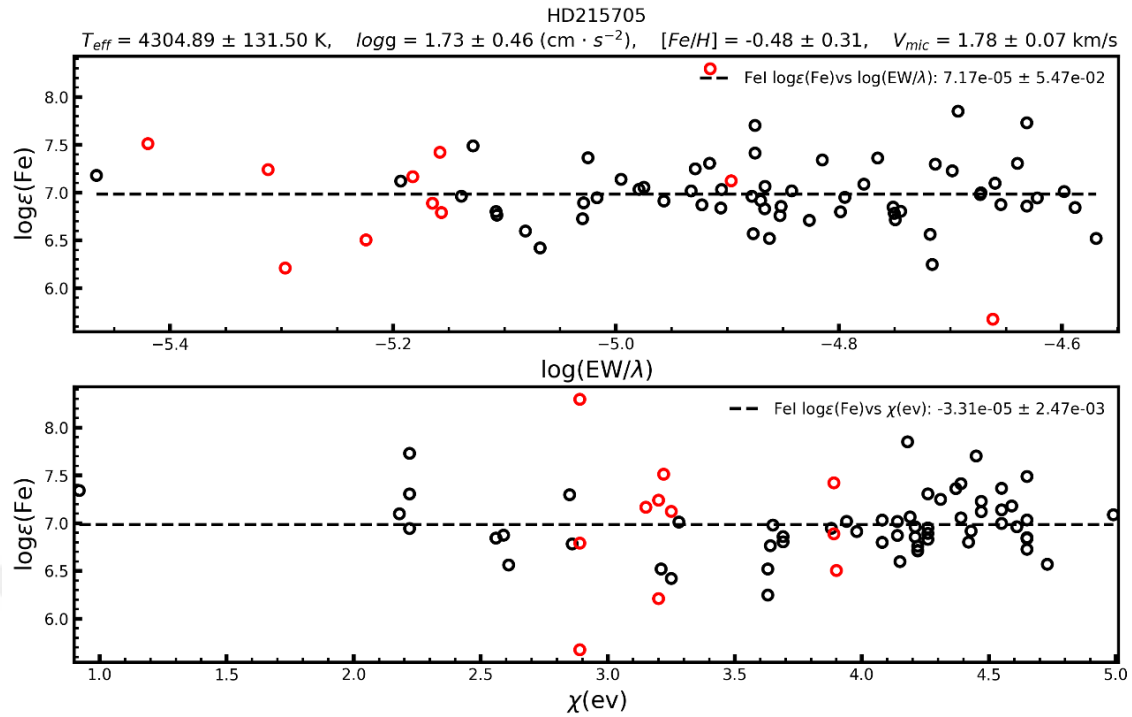
Yıldızın ARIADNE kodu ile gerçekleştirilen SED analizi sonucunda elde edilen SED grafikleri şekil 4.68 ve şekil 4.69'da verilmektedir. Ayrıca LOTUS kodu ile gerçekleştirilen analizinden elde edilen sonuçlar şekil 4.70, 4.71 ve 4.72'de sunuldu.



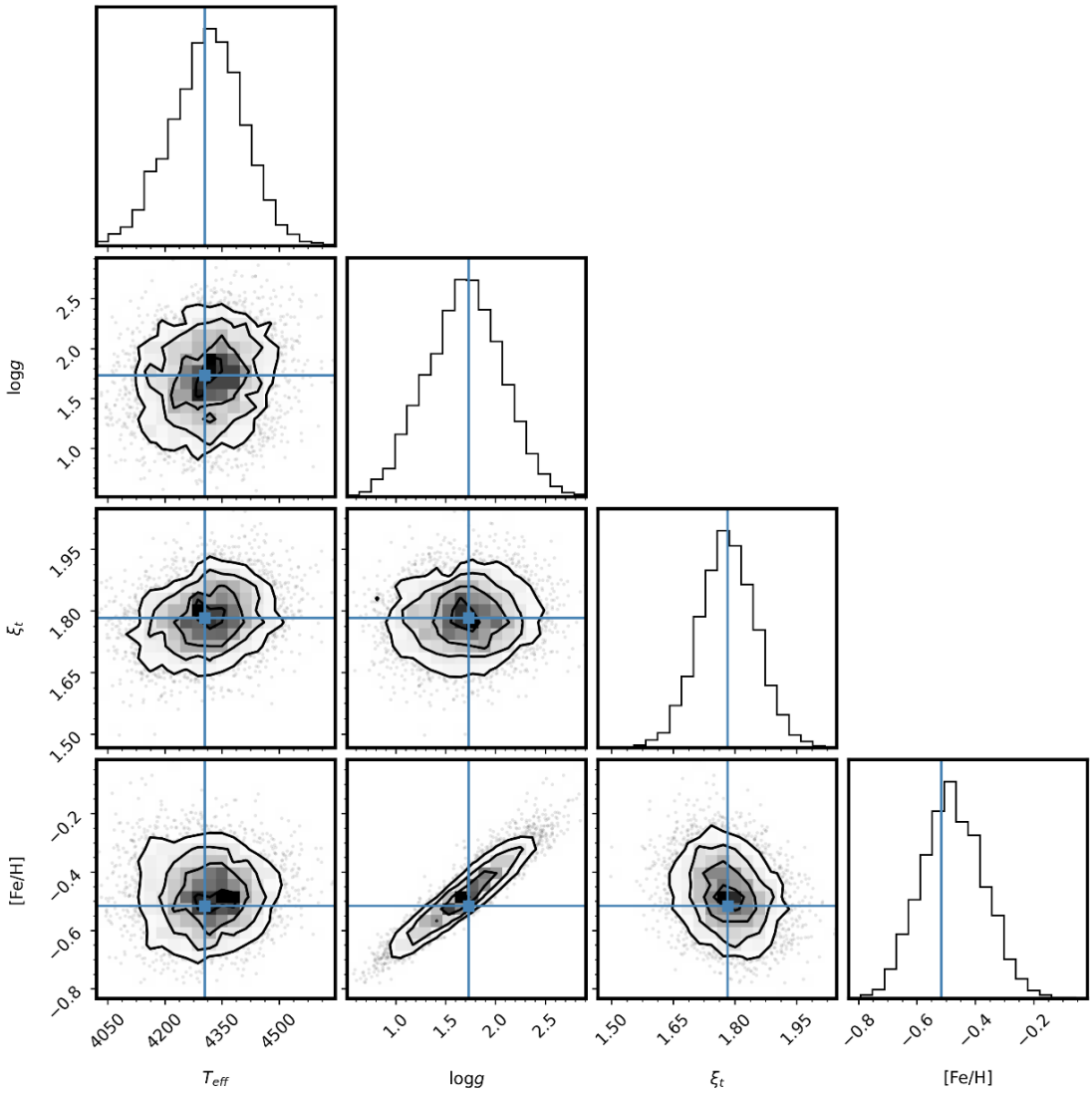
Şekil 4.68 HD 215705 yıldızının SED grafiği. Üst paneldeki mavi daireler gözlemsel fotometrik verileri ve yatay çizgiler ise filtrelerin band genişliğini göstermektedir. Mor renkli köşeli şekiller sentetik fotometrik veriyi temsil etmektedir. Alt panel ise fotometri hatalarına göre normalize edilmiş fit artıklarını göstermektedir



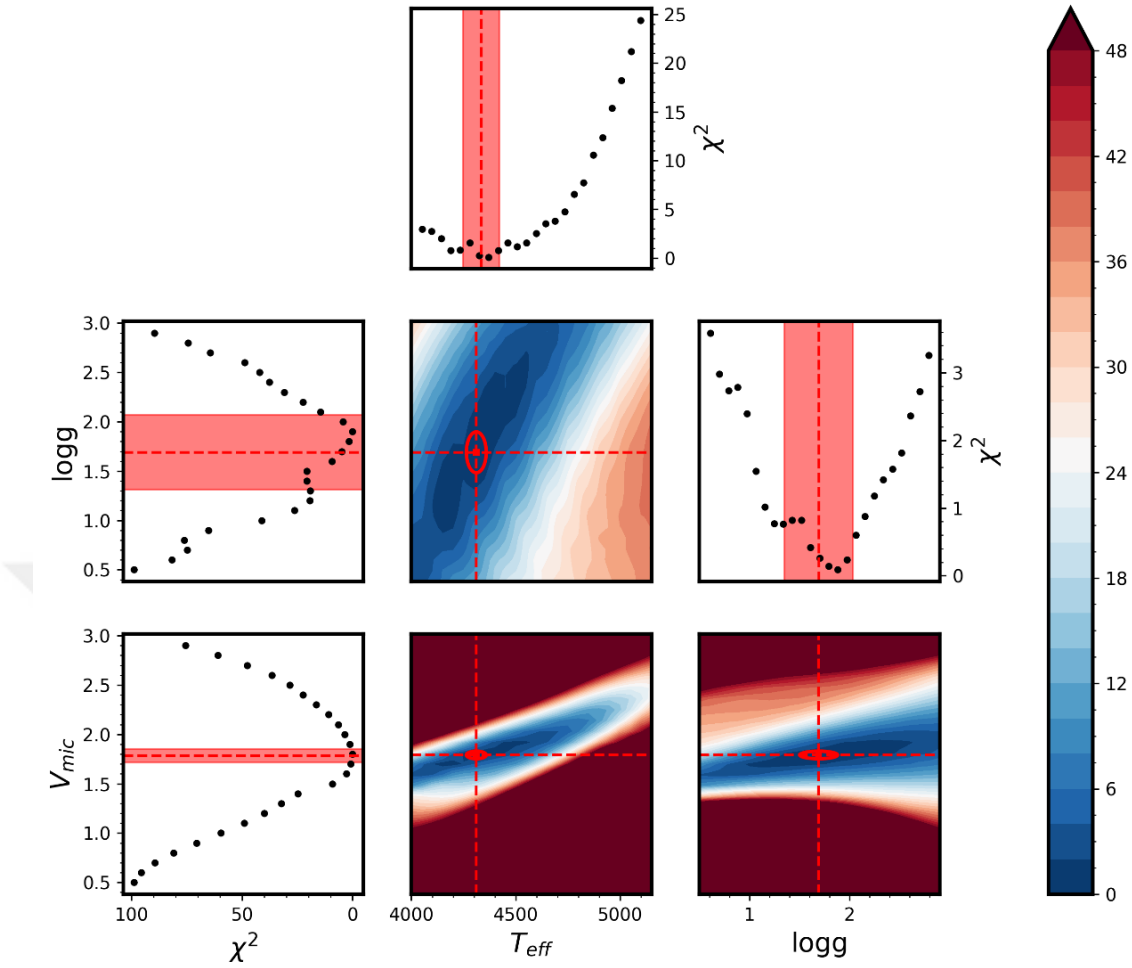
Şekil 4.69 HD 215705 yıldızının SED analizi sonucu elde edilen parametrelerinin köşe grafiği



Şekil 4.70 HD 215705 yıldızının LOTUS analizi sonucu Fe I (siyah daireler) ve Fe II (kırmızı daireler) çizgilerinin bolluk değerleri. Üst panel bollukların eşdeğer genişliklere göre değişimini, alt panel ise bollukların uyartılma potansiyeline göre değişimini göstermektedir. Her iki paneldeki kesikli çizgiler Fe bolluklarının eğimini göstermektedir



Şekil 4.71 HD 215705 yıldızının LOTUS ile hesaplanan atmosfer parametrelerinin köşe grafiği. Bu dağılımlar, hem her bir parametrenin olasılıklarını hem de parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini (iki boyutlu kontur grafikleri) içerir



Şekil 4.72 HD 215705 yıldızının LOTUS ile hesaplanan parametrelerinin güvenilirliğini göstermektedir

4.2 Aday Yıldızların Yaşanabilir Bölge Sınırları

Çalışma kapsamında hedef yıldızlar için belirlenen yaşanabilir bölge sınırları Bölüm 3'te belirtilen yöntem kullanılarak her bir yıldız için hesaplandı ve çizelge 4.4'te verildi. Ayrıca aynı yıldızların ana kol karşılıkları için de YB sınırları benzer bir şekilde hesaplandı ve bunlarda çizelge 4.5'te verildi. Unutulmamalıdır ki ana kol için verilen bu sonuçlar bir kestirime dayanmaktadır, başlangıç parametreleri olarak alınan sıcaklık ve ışınım gücü değerleri, yıldızların evrim yolları üzerinden ortalaması alınarak belirlendi. Bu hesaplama yıldızların şu anki YB sınırları ile yüzeysel bir kıyaslama olarak

düşünülmelidir. Yıldızlar için oluşturulan yaşanabilir bölge sınırları ise şekil 4.73 ile 4.87 arasında verildi.

Çizelge 4.4 Aday yıldızların yaşanabilir bölge sınırları. Güneş'in YB sınırlarıda ayrıca çizelgede verilmektedir. Koyu gri olan Sürekli YB'nin iç ve dış sınırlarını, daha açık gri olan alan ise İyimser YB'nin iç ve dış sınırlarını göstermektedir (Kopparapu vd. 2013b)

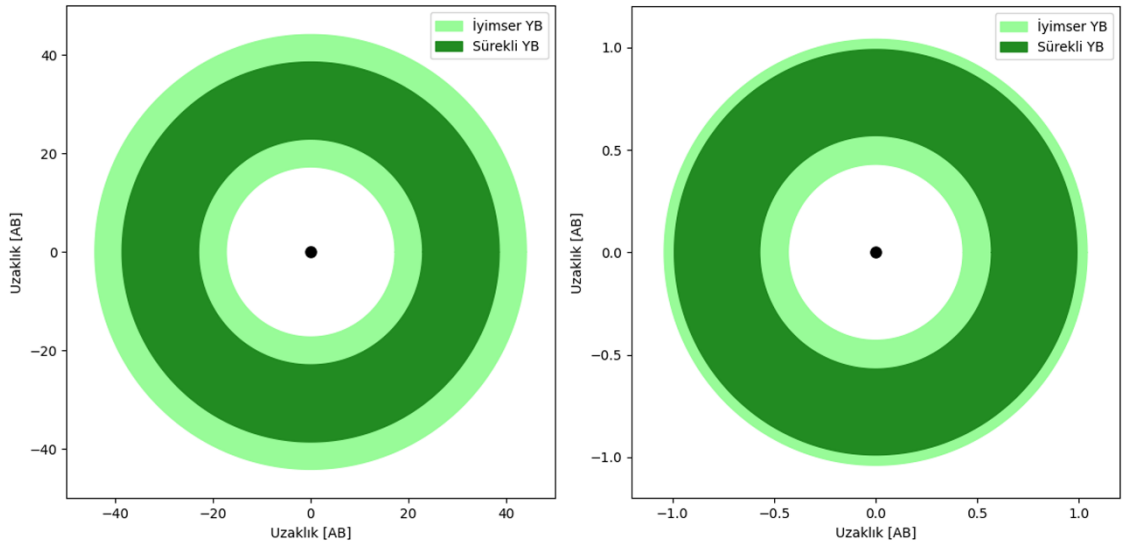
Yıldız	İyimser Yaşanabilir Bölge (OHZ)				
		Sürekli Yaşanabilir Bölge (CHZ)			
	Son Venüs Sınırı (AB)	Kontrolsüz Sera Sınırı (AB)	Nemli Sera Sınırı (AB)	Maksimum Sera Sınırı (AB)	Erken Mars Sınırı (AB)
Güneş	***0.75***	***0.97***	***0.99***	***1.67***	***1.77***
HD 11844	17.28	22.93	22.87	42.04	44.15
HD 16028	16.40	21.77	21.70	39.50	41.42
HD 23049	13.45	17.86	17.80	32.48	34.07
HD 25350	17.09	22.66	22.61	40.26	42.14
HD 28171	5.28	7.00	6.98	12.45	13.03
HD 34190	29.36	38.98	38.85	70.42	73.80
HD 60935	8.62	11.45	11.41	20.63	21.61
HD 74653	15.83	21.01	20.95	38.59	40.53
HD 187734	34.44	45.72	45.58	83.38	87.49
HD 188484	13.20	17.51	17.47	32.24	33.88
HD 193090	13.12	17.41	17.36	31.78	33.35
HD 196345	10.36	13.75	13.70	24.90	26.11
HD 204603	7.87	10.45	10.42	18.78	19.67
HD 215705	12.69	16.85	16.79	30.60	32.09

Çizelge 4.5 Aday yıldızların ana kol kestirimi yapıldığında YB sınırları. Çizelgede Güneş için hesaplanan YB sınır değerleride de yer almaktadır (Kopparapu vd. 2013b)

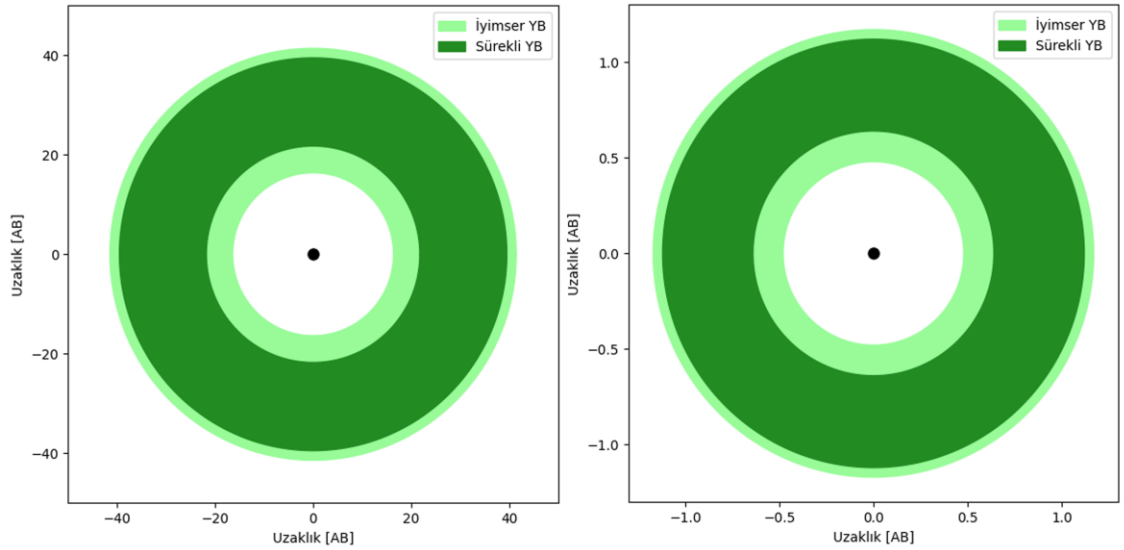
Yıldız	Son Venüs Sınırı (AB)	Kontrolsüz Sera Sınırı (AB)	Nemli Sera Sınırı (AB)	Maksimum Sera Sınırı (AB)	Erken Mars Sınırı (AB)
Güneş	***0.75***	***0.97***	***0.99***	***1.67***	***1.77***
HD 11844	0.43	0.57	0.57	0.99	1.04
HD 16028	0.48	0.64	0.64	1.12	1.17
HD 23049	0.61	0.80	0.80	1.39	1.45
HD 25350	0.49	0.65	0.65	1.14	1.19
HD 28171	0.43	0.57	0.57	0.99	1.04

Çizelge 4.5 Aday yıldızların ana kol kestirimi yapıldığında YB sınırları. Çizelgede Güneş için hesaplanan YB sınır değerleride de yer almaktadır (Kopparapu vd. 2013b) (devam)

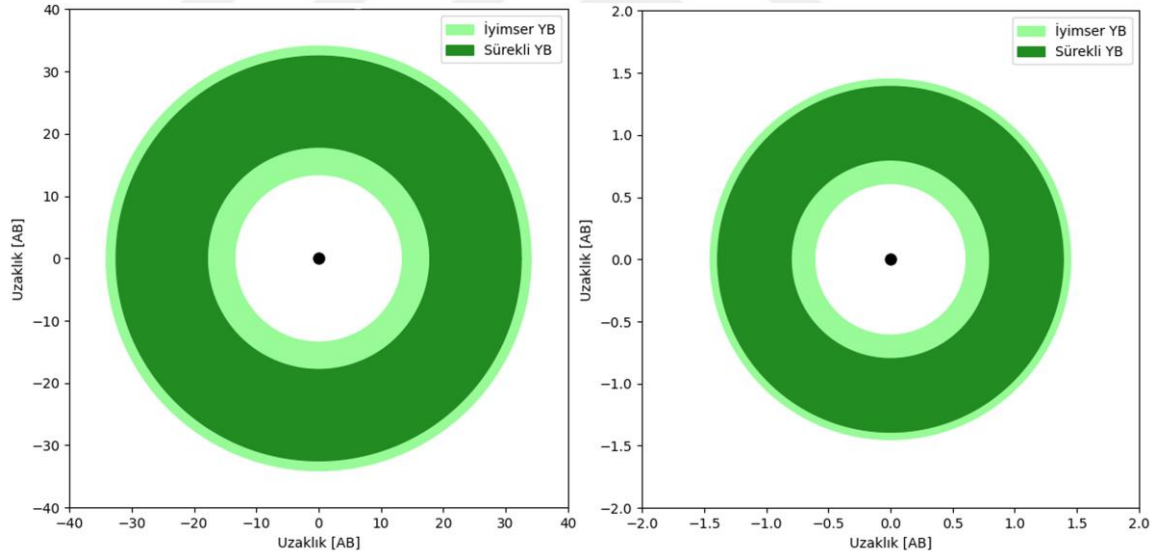
Yıldız	Son Venüs Sınırı (AB)	Kontrolsüz Sera Sınırı (AB)	Nemli Sera Sınırı (AB)	Maksimum Sera Sınırı (AB)	Erken Mars Sınırı (AB)
HD 34190	1.23	1.62	1.62	2.86	2.99
HD 60935	0.55	0.72	0.72	1.28	1.34
HD 74653	0.27	0.35	0.35	0.61	0.63
HD 187734	2.19	2.75	2.89	4.63	4.80
HD 188484	0.37	0.49	0.49	0.87	0.91
HD 193090	0.53	0.70	0.71	1.21	1.27
HD 196345	0.55	0.72	0.72	1.28	1.34
HD 204603	0.94	1.23	1.24	2.11	2.20
HD 215705	0.49	0.65	0.65	1.14	1.19



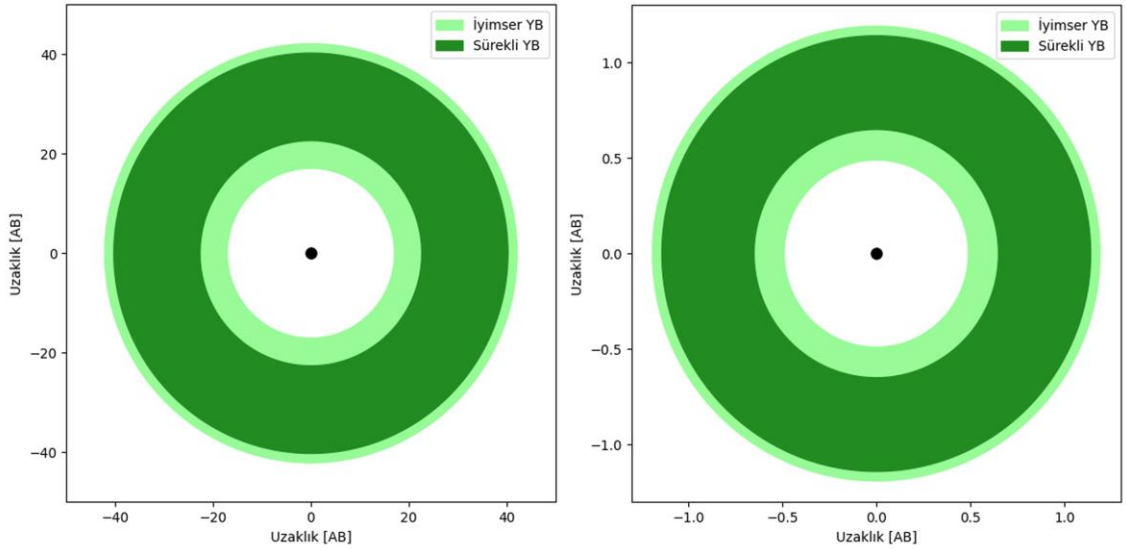
Şekil 4.73 HD 11844 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



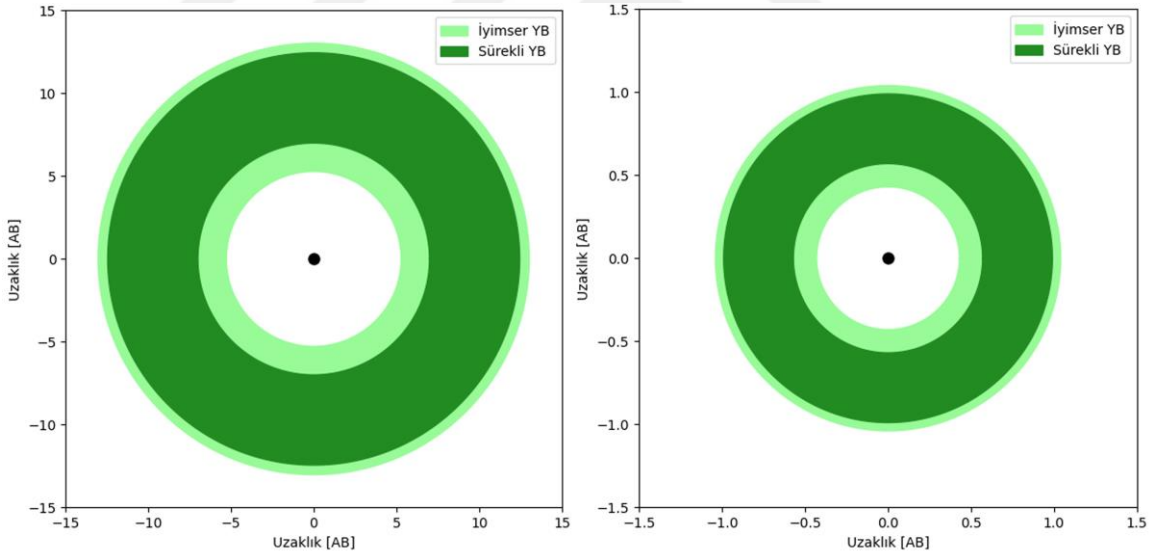
Şekil 4.74 HD 16028 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



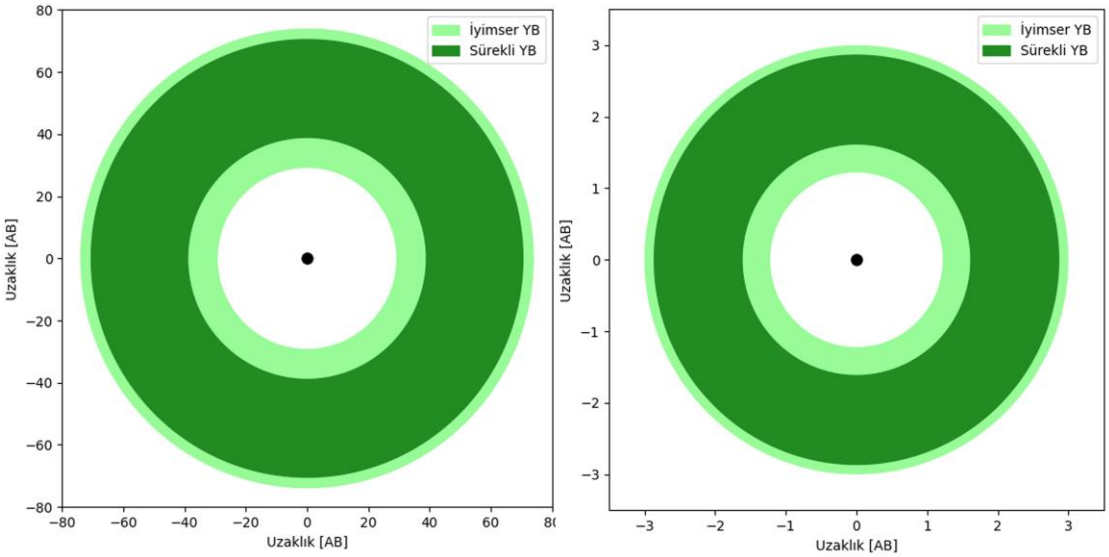
Şekil 4.75 HD 23049 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



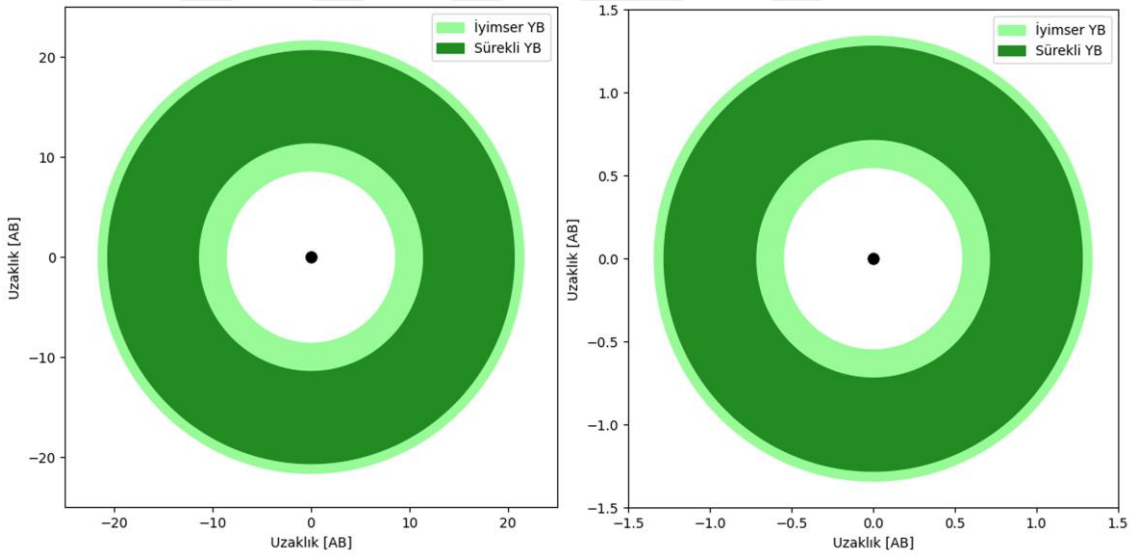
Şekil 4.76 HD 25350 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



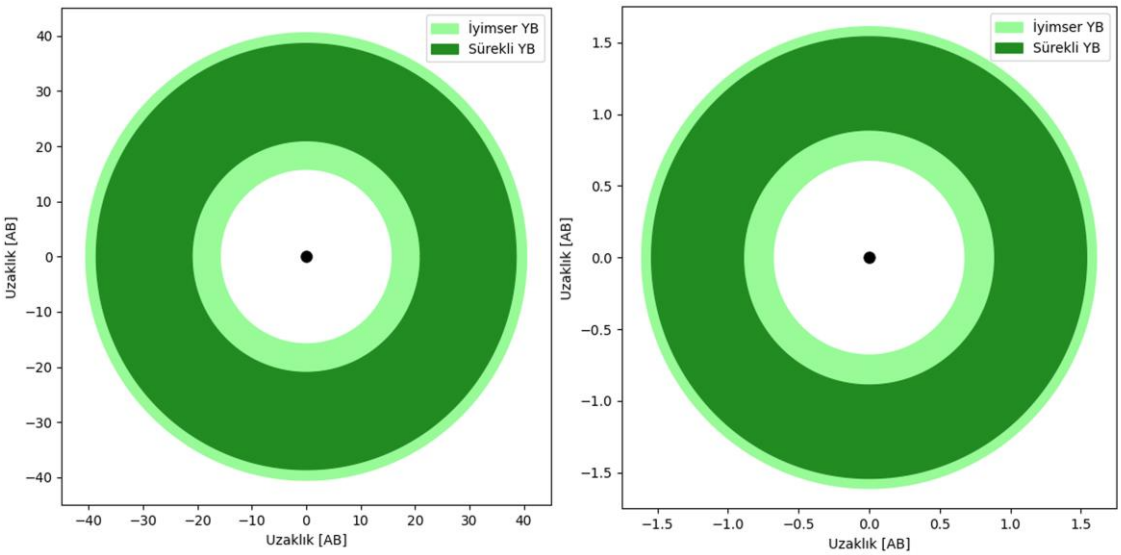
Şekil 4.77 HD 28171 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



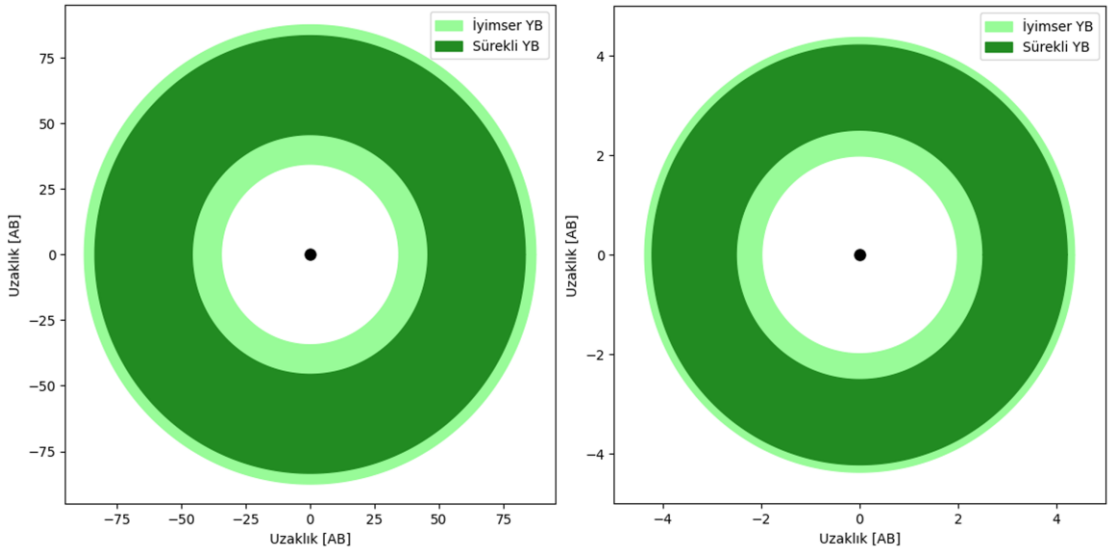
Şekil 4.78 HD 34190 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



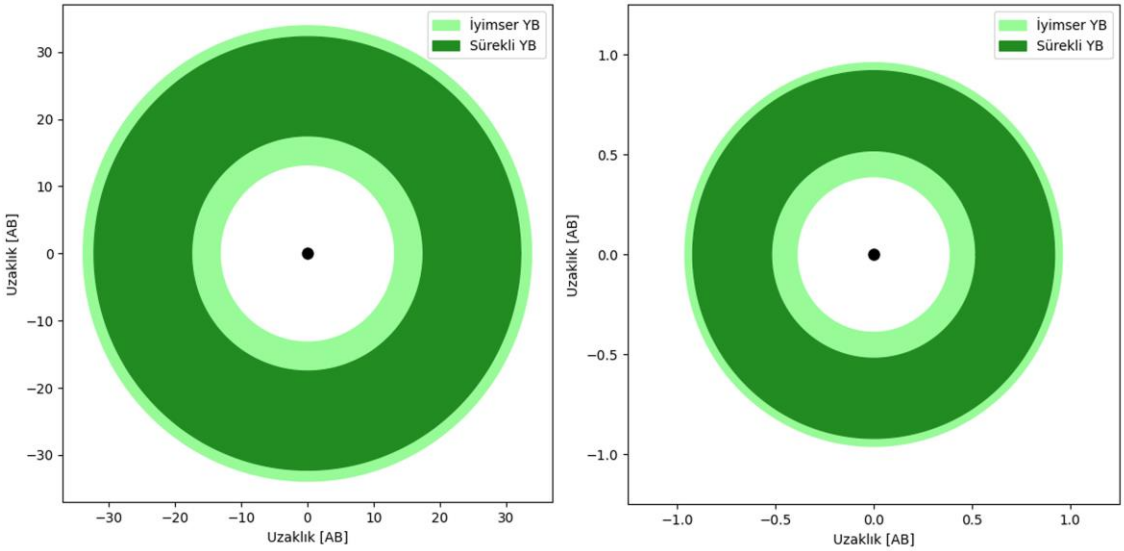
Şekil 4.79 HD 60935 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



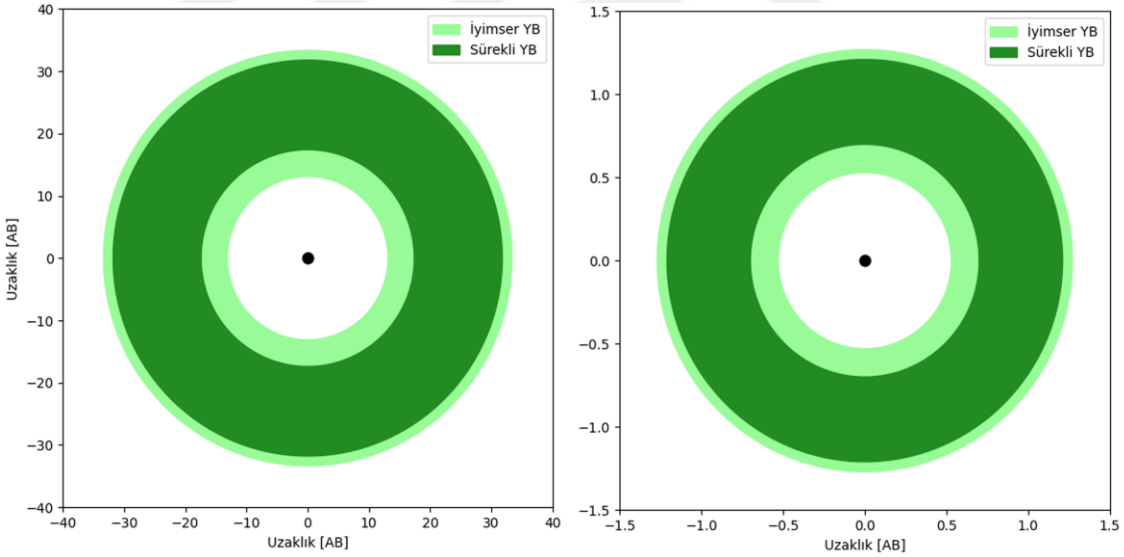
Şekil 4.80 HD 74653 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



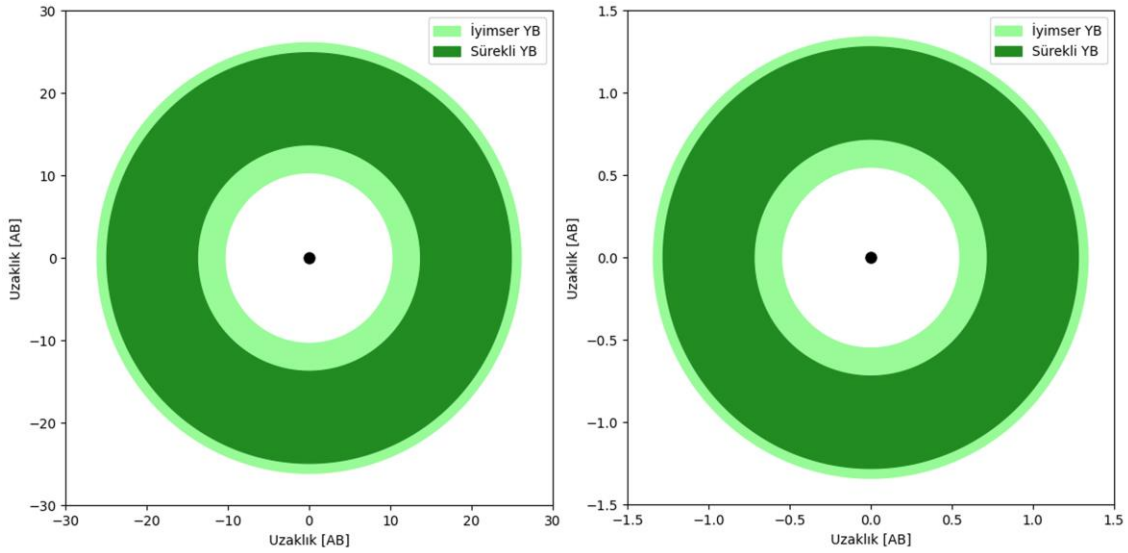
Şekil 4.81 HD 187734 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



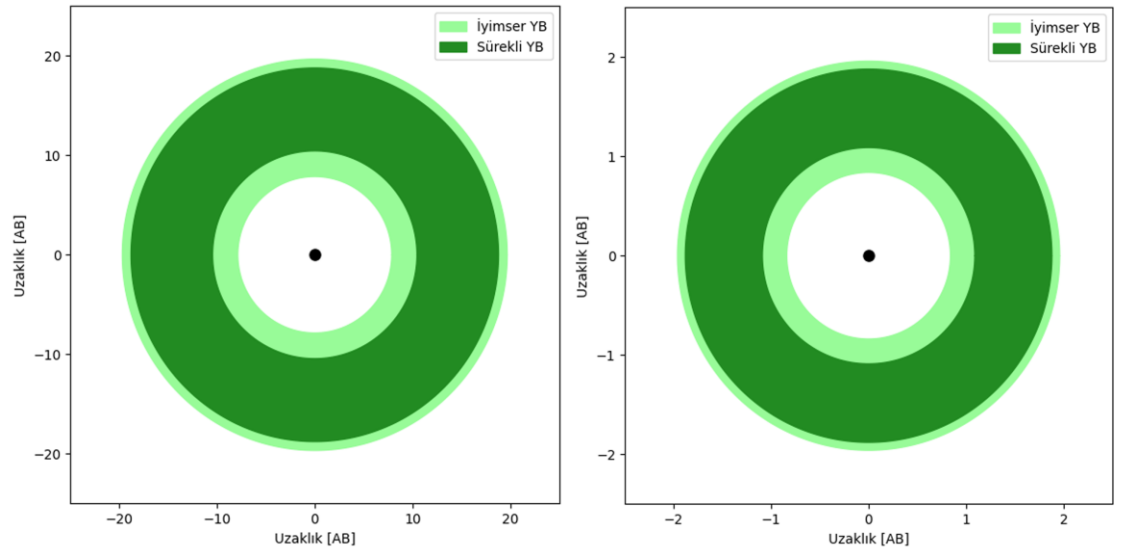
Şekil 4.82 HD 188484 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



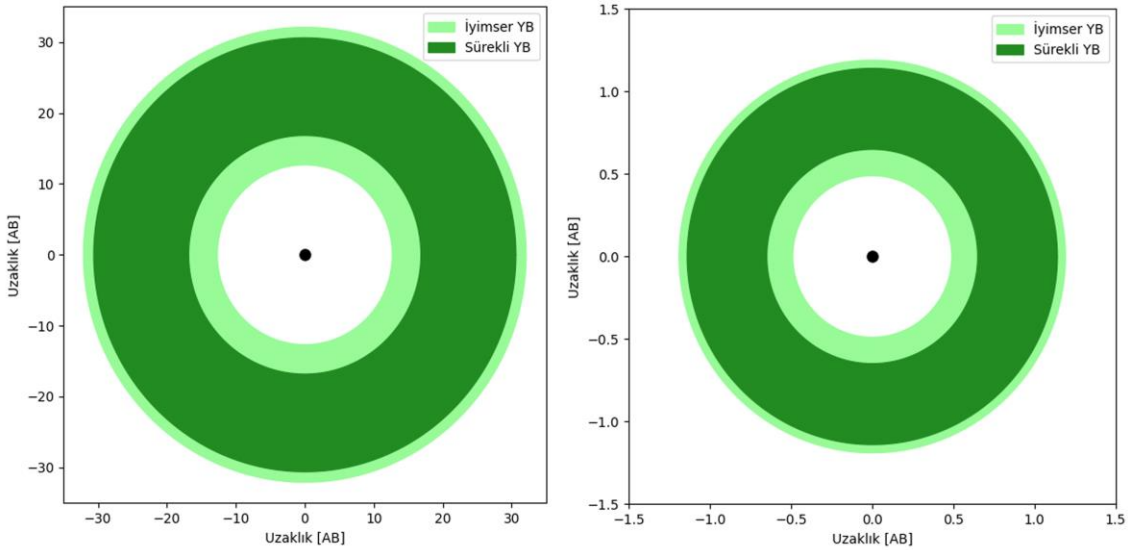
Şekil 4.83 HD 193090 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



Şekil 4.84 HD 196345 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



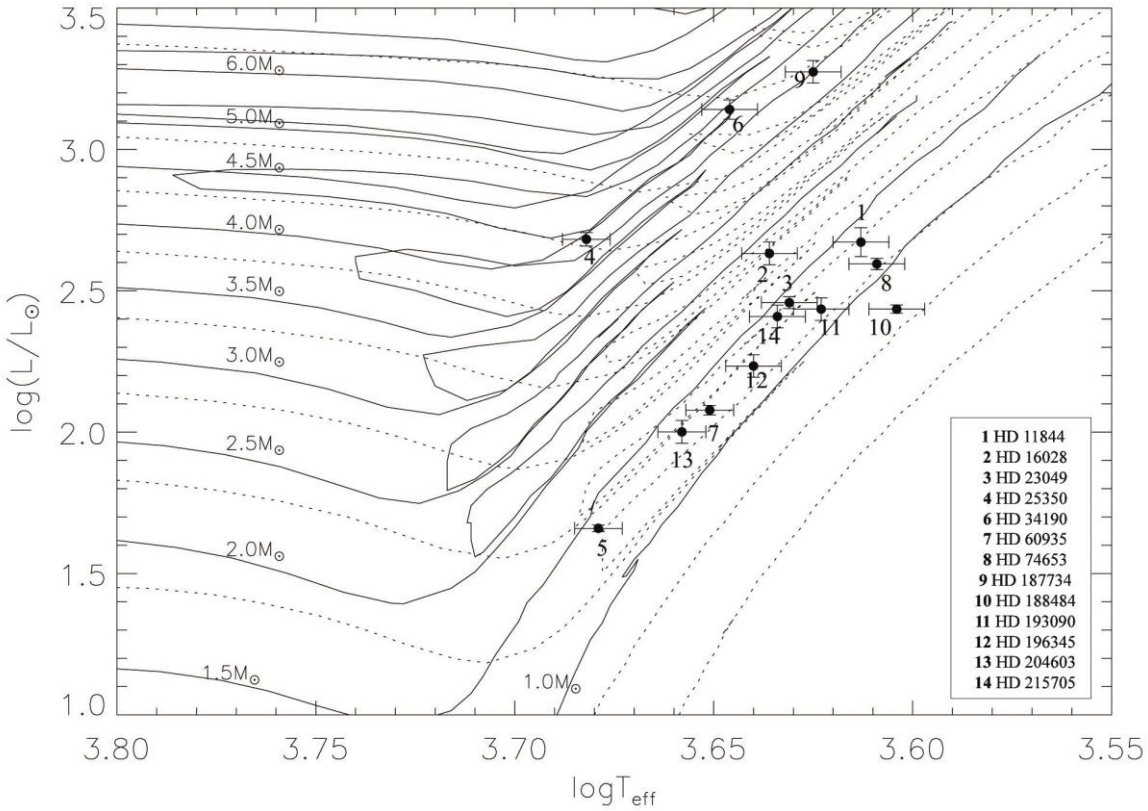
Şekil 4.85 HD 204603 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir



Şekil 4.86 HD 215705 için ana kolda olduğu varsayımı ile hesaplanan yaşanabilir bölge (sağ) ve şimdiki evrim durumu için hesaplanan yaşanabilir bölge (sol) sınırları. Şekilde yıldızın iyimser yaşanabilir bölge sınırı açık yeşil ile, sürekli yaşanabilir bölge sınırı koyu yeşil ile gösterilmektedir

4.3 Yıldızların Evrim Durumları

Yıldızların Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramındaki konumunun bilinmesi, yıldızların evrimsel durumlarının değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Bu nedenle aday yıldızların evrimsel durumlarının değerlendirmesini yapabilmek için, aday yıldızlar ışınım güçlerine ve etkin sıcaklıklarına göre H-R diyagramında konumlandırıldı (Şekil 4.87).



Şekil 4.87 Aday yıldızların H-R diyagramındaki yerleri (içi dolu koyu noktalar), Z = 0.008 (düz çizgiler) ve Z = 0.03 (kesik çizgiler) için 1-6 $M_{\odot}$ kütleleri için teorik evrim yollarını göstermektedir

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, bazı geç tayf türünden yıldızların ilk kez tayfsal analizi yapılarak atmosfer ve mutlak parametreleri belirlendi. Elde edilen bu parametrelerle yıldızların etrafındaki yaşanabilir bölgeleri hesaplandı. Bu amaçla öncelikle G ve K tayf türünden 15 adet yıldızın SED analizleri ile sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, metal bollukları, yarıçapları, uzaklıkları ve sönümleme değerleri elde edildi. Aynı zamanda aday yıldızların gözlenen yüksek çözünürlüklü tayfları yardımıyla Fe çizgilerinin eşdeğer genişlikleri ölçüldü ve LOTUS kodu ile 14 yıldıza ait atmosfer parametreleri; sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, metal bollukları ve mikrotürbülans hızları hesaplandı. Elde edilen bu parametreler ve Gaia uzaklık bilgisinden hareketle mutlak parametrelere geçiş yapıldı. 14 aday yıldız için elde edilen mutlak parametreler çizelge 4.3'te sunuldu. Yıldızların belirlenen sıcaklık ve ışınım güçleri kullanılarak H-R diyagramında konumları ve Mesa yıldız evrim modelleri ile de yaşları belirlendi. Bunlara ek olarak yıldızların etrafındaki yaşanabilir bölge sınırları da hesaplandı ve çizelge 4.4'te sunuldu.

Yıldızların yerleştirildiği H-R diyagramına (Şekil 4.88) göre; aday yıldızların çoğu kırmızı dev (ing. Red Giant Branch, RGB) aşamasında ve ana koldan ayrılmış durumdadır. Bu, yıldızların çekirdeklerindeki hidrojen yakıtını tüketmiş olduklarını gösterir. Yıldızın küçük, sıcak ve yüksek yoğunluklu çekirdeği büyük ölçüde helyumdan oluşmakta ve hidrojen füzyonu artık çekirdek çevresindeki büyük, soğuk ve düşük yoğunluklu bir kabukta devam etmektedir. Burada yıldızların kırmızı dev kolundaki konumlarına göre farklı evrimsel aşamalarda olduğu görülmektedir. Bu evrede incelenen yıldızların, mevcut ana kol durumlarına göre genişlediği ve daha büyük yüzey alanlarına eriştikleri sonucuna varılmaktadır. Ayrıca, aday yıldızların Mesa evrim yolları ile hesaplanan yaşları 0.11 Gyıl ile 13.25 Gyıl aralığında değişim göstermektedir. LOTUS kodu ile hesaplanan atmosfer parametrelerinden T_{eff} değeri 4105 K ile 4800 K, logg değeri 1.20 cm/s^2 ile 2.36 cm/s^2 ve υ_{mic} değeri 1.52 km/s ile 1.99 km/s arasında değişmektedir. Yıldızların [Fe/H] oranı ise -0.06 dex ile -0.48 dex aralığında değişim göstermektedir. Bu metal bolluğu değerlerine göre, çalışılan hedef yıldızların Güneş'e göre metalce fakir oldukları söylenebilir. Ölçülen parametrelerin ortalama belirsizlikleri

ise sırasıyla; T_{eff} için 95 K, logg için 0.33 cm/s^2, [Fe/H] 0.28 dex ve υ_{mic} için 0.05 km/s'dir. Yıldızlar için hesaplanan LOTUS logg değerleri de yıldızların dev yıldızlar olduğunu doğrulamaktadır. Aday yıldızlardan yalnızca HD 177697 için bir atmosfer parametre seti bulunamadı. Bunun sebebi olarak yıldızın gözlenen tayflarının düşük S/N (~ 80) oranına sahip olması ve LOTUS ile sağlıklı bir analiz için yeterli Fe çizgi sayısının elde edilememesi gösterilebilir.

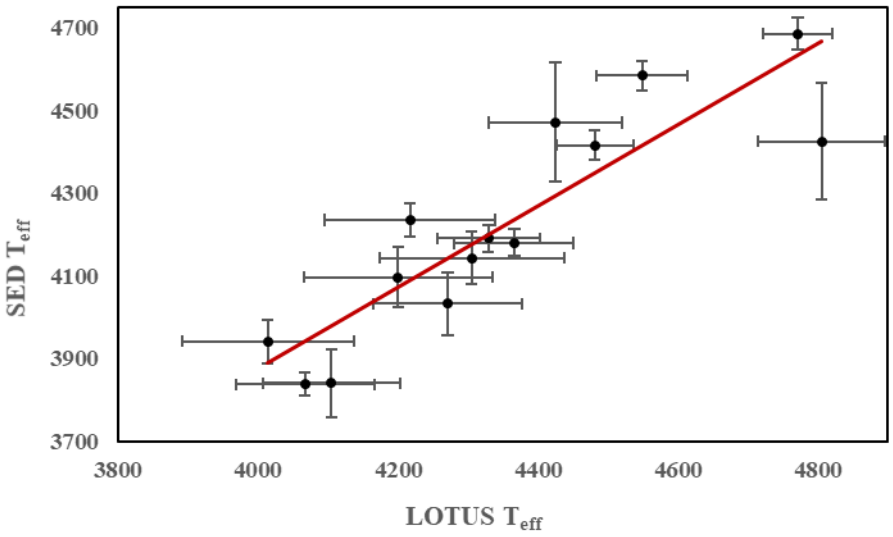
14 adayın atmosfer parametrelerinin hesaplamaları sırasında yıldız atmosferlerini modellemek için NLTE yaklaşımı benimsendi. Özellikle dev ve süperdev gibi evrimleşmiş yıldızlar, genişlemiş atmosferlere sahip olduklarından, atmosferlerinin dış katmanlarında radyasyon alanı yerel termodinamik dengeden uzaklaşır. Kırmızı dev yıldız atmosferleri, genişlemiş olduğundan dolayı nispeten geçirgendir ve bu nedenle, yerel termodinamik denge (LTE) altında beklenen ışıma ve çarpışma oranları arasındaki denge bozulur ve yerel olmayan ışıma oranlarının baskın hale gelmesine yol açar. Bu durum, LTE'den sapmalara neden olurken, özellikle geç tayf türünden dev yıldızlarda, gelen radyasyonun iyonlaşma dengesi üzerindeki etkisini önemli kılar. Zira yıldızdan gelen radyasyon, fotonların soğurulması ve saçılması yoluyla iyonlaşma oranlarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, LTE model atmosferleri bu tür yıldızlar için yeterli doğrulukta sonuçlar vermeyebilir. Dahası, NLTE etkileri geç tayf türünden dev yıldızların spektrumlarında gözlemlenen tayf çizgilerinin şiddetini ve profilini değiştirebilir. Bu da eşdeğer genişlik yöntemiyle hesaplanan atmosferik parametrelerin güvenilirliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle, özellikle bu tür yıldızların atmosferik özelliklerini ve evrimini doğru bir şekilde anlamak için bu çalışmada NLTE modeller kullanıldı.

LOTUS programında, Fe I ve Fe II çizgilerinin sayısı, türetilen atmosferik parametreleri doğrudan etkilemektedir. Bunun için Li ve Ezzeddine (2023) çalışmasında, Fe I çizgilerinin sayısını S/N oranının bir fonksiyonu olarak inceleyerek; her bir yıldız parametresi için türetilen belirsizliklerin, Fe I çizgilerinin sayısının ve S/N oranının artmasıyla azaldığını göstermişlerdir. Bu çalışmada, $N_{çizgi} > 100$ olan yıldızlar veya $N_{çizgi} < 100$ ve S/N > 100 olan yıldızlar için belirsizliklerin; T_{eff} için < 50K, log g için < 0.1 dex, [Fe/H] için < 0.05 dex ve υ_{mic} için < 0.02 km/s olduğu saptanmıştır. Ancak, $N_{çizgi}$ <

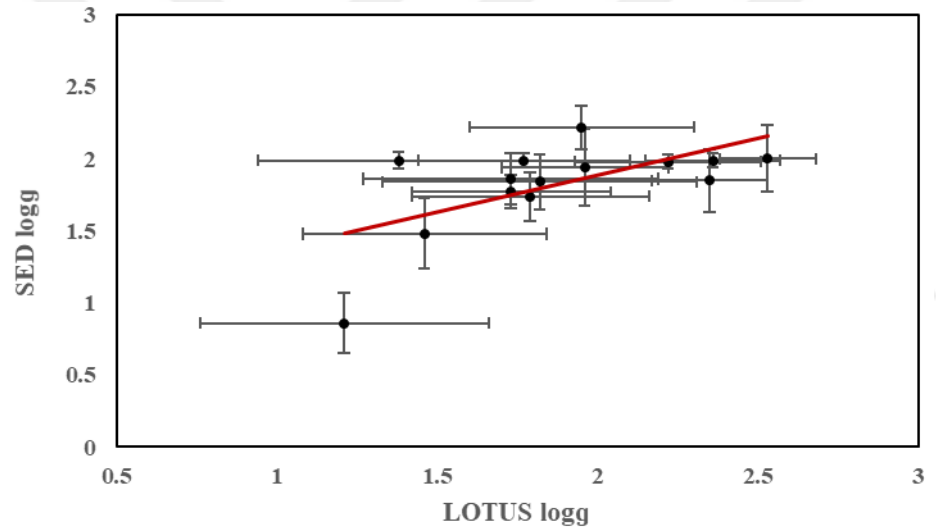
100 ve S/N < 60 olan yıldızlar için belirsizlikler T_{eff} için 200 K'ya, logg için 0.5 dex'e, [Fe/H] için 0.3 dex'e ve υ_{mic} için 0.2 km/s'ye kadar ulaşabildiği vurgulanmıştır.

Bu bakımdan yaptığımız bu tez çalışmasında elde edilen parametrelerin hesaplanmasında kullanılan Fe çizgilerinin sayısının (N_{Fe}), bazı yıldızlar için 100'ün altında kaldığı görüldü (bkz. Bölüm 3, Çizelge 3.7). Özellikle HD 177697 yıldızının Fe çizgi sayısının (N_{Fe} = 43) oldukça düşük olması, yıldız için bir parametre seti hesabının yapılamamasına olası bir sebep olarak görülmektedir. Biliyoruz ki geç tayf türü olan G ve K tipi yıldızlarda, Fe I çizgilerinin sayısı, Fe II çizgilerine oranla daha fazla gözlemlenmekte ve örtüşmemiş çizgi seçimi yapıldığında bu fark daha da artmaktadır. LOTUS kodunda kullanılacak eşdeğer genişlik ölçümlerinin daha sağlıklı yapılabilmesi için, kullanılan çizgilerin örtüşmemiş olanlarından seçilmesine özen gösterildi. Bunlar dikkate alındığında; gerek çizgi seçimi gerekse yüksek saçılma gösteren veya yanlış ölçülen eşdeğer genişlik ölçümlerinin dışlanması sonucu Fe I ve Fe II çizgilerinin sayısı beklenenden daha düşük sayıda kaldı. Bu durum, her bir çizgi seçimi ve ölçümünün parametre hesaplamalarında belirsizliği artırması açısından önemlidir.

Çalışmamızda ARIADNE ve LOTUS ile hesaplanan parametrelerin karşılaştırılması şekil 5.1 ve 5.2'de verildi. Buna göre LOTUS ve SED ile elde edilen T_{eff} değerlerinin model atmosferlerin öngördüğü (~100 K) hata sınırları içerisinde uyumlu olduğunu söylenebilir. T_{eff} için elde edilen korelasyon değeri yaklaşık % 88.7'dir. Her iki yöntemle logg için elde edilen korelasyonun ise daha düşük olduğu görüldü ve değeri yaklaşık % 60.9 olarak hesaplandı. Bu iki analiz yönteminde, yıldızların metal bolluk değerleri için oldukça farklı sonuçlar elde edildi. Bu farkın nedeni olarak analiz yöntemlerinin farklılığı düşünülebilir. Çünkü ARIADNE ile yapılan SED fitlerinde yıldızların fotometrik verilerinin kullanıldığı bir yol izlenirken, LOTUS ile yapılan analizlerde tayfsal veriler kullanılmaktadır. Bu durumda LOTUS ile hesaplanan metal bolluk değerlerinin daha sağlıklı olduğu düşünülebilir.



Şekil 5.1 LOTUS ve SED ile elde edilen T_{eff} değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.2 LOTUS ve SED ile elde edilen logg değerlerinin karşılaştırılması

Atmosfer parametrelerinin belirlenmesinden sonra çalışma kapsamında hedef yıldızların kütle ve yarıçap gibi mutlak parametreleri belirlendi. İncelenen aday yıldızların tayf türleri ve evrimsel durumları göz önüne alındığında, G ve K dev yıldızları için kütle değerleri genellikle ~ 5 $M_{\odot}$, yarçapları ise ~100 $R_{\odot}$ kadar değişmektedir. Hesapladığımız yarıçap ve kütle değerleri de birkaç istisna dışında bu aralıklarla uyumludur. Bu istisnalar K tayf türünden HD 11844, HD 34190 ve HD 187734 yıldızlarıdır. Bu üç yıldız için hesaplanan kütle değerleri özellikle HD 34190 için 8$M_{\odot}$ kütle değeri ile beklenenden

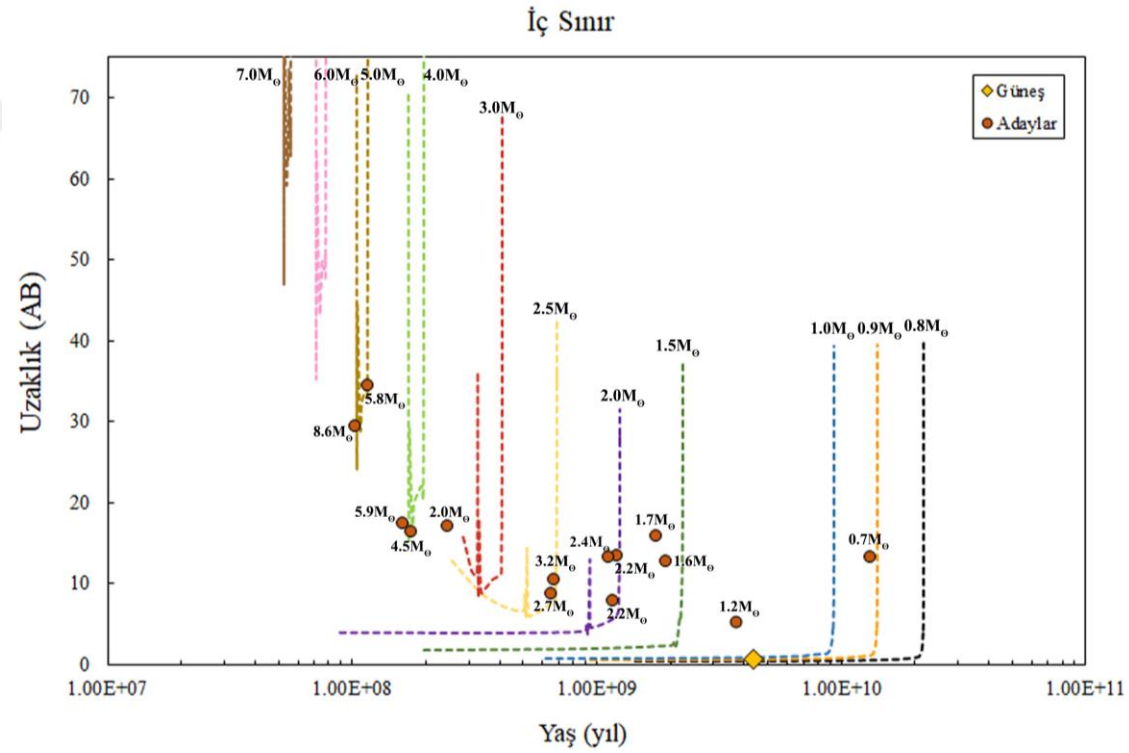
oldukça yüksek elde edildi. Bu durumun olası nedenleri arasında ilk olarak LOTUS hesaplamalarında kullanılan ve bölüm 3'te çizelge 3.6'da görüleceği üzere çizgi sayısının yetersizliği gösterilebilir (Özellikle HD 187734 yıldızı için Fe çizgi sayısı oldukça düşüktür). Ayrıca, hesaplamalarda kullanılan ve SED analizinden elde edilen A_v değerlerindeki belirsizliklerin de bu sonuçları etkilediği değerlendirilmiştir. Ayrıca bu aday yıldızlardan HD 11844, HD 34190 ve HD 187734 galaktik koordinatları da dikkate alındığında kızılöte toz haritalarına göre yıldızlararası sönümlemenin yoğun olduğu bir bölgede yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, analiz süreçlerinde yapılan olası hataların ve bu hataların birleşik etkisinin de bu farklılıklara yol açmış olabileceği düşünülmektedir. Bunların yanı sıra yıldızların TESS ışık eğrilerine (bkz. EK 1) bakıldığında düzensiz değişimler dikkat çekmektedir. Işık eğrisinde düzensizliğe yol açabilecek her bir unsur hesaplanan parametreler üzerinde de belirsilikler oluşturabilmektedir. Özellikle geç tayf türünden yıldızların yüzeyinde düzensizlik yaratabilecek olgulardan (leke, manyetik çevrim, granülasyon gibi) ve bulundukları evrimsel aşamadan kaynaklı (dev yıldızlarda yıldız rüzgarlarından kaynaklı kütle kaybı gibi) etkiler bu düzensizliklerin olası nedenleri arasında gösterilebilir. Özellikle aday yıldızların kırmızı dev evresinde oldukları düşünüldüğünde yoğun yıldız rüzgarlarına sahip olma olasılıkları yüksektir.

Aday yıldızların bazıları için McDonald vd. nin (2012) çalışmasında T_{eff} değerleri bölüm 3'te çizelge 3.4'te verilmektedir. Bu çalışma ile LOTUS T_{eff} değerleri kıyaslandığında, en aykırı değer 483 K sıcaklık farkı ile HD 11844 ve 236 K sıcaklık fark ile HD 23049 olduğu görüldü. Bunu dışında çalışmaya dahil edilen diğer yıldızlar için farkın 180 K' ni aşmadığı ve bu çalışma ile elde edilen sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. Kervella vd. nin (2019) çalışmasına dahil edilen aday yıldızlarımızdan bazılarının kütle ve yarıçap değerleri hesaplanmıştı (bkz. Çizelge 3.5). Bu çalışmada aynı adaylar için hesapladığımız değerlerle kıyasladığımızda farklarının ortalaması 1 $M_\odot$ olduğu görüldü. Ancak en aykırı olan aday 5.9 $M_\odot$ kütle değeri ile HD 11844 yıldızıdır. HD 187734 yıldızı için yüksek bir kütle değeri bulduğumuzu düşünsekte bizim çalışmamız ile Kervella vd. nin çalışmasınadaki hesaplanan kütle değeri arasında 0.2 $M_\odot$ bir fark olduğu görüldü. Ayrıca, HD 187734 yıldızının kütle değeri Tetzlaff vd.nin (2011) yaptıkları çalışmada 8.8 $M_\odot$ (±

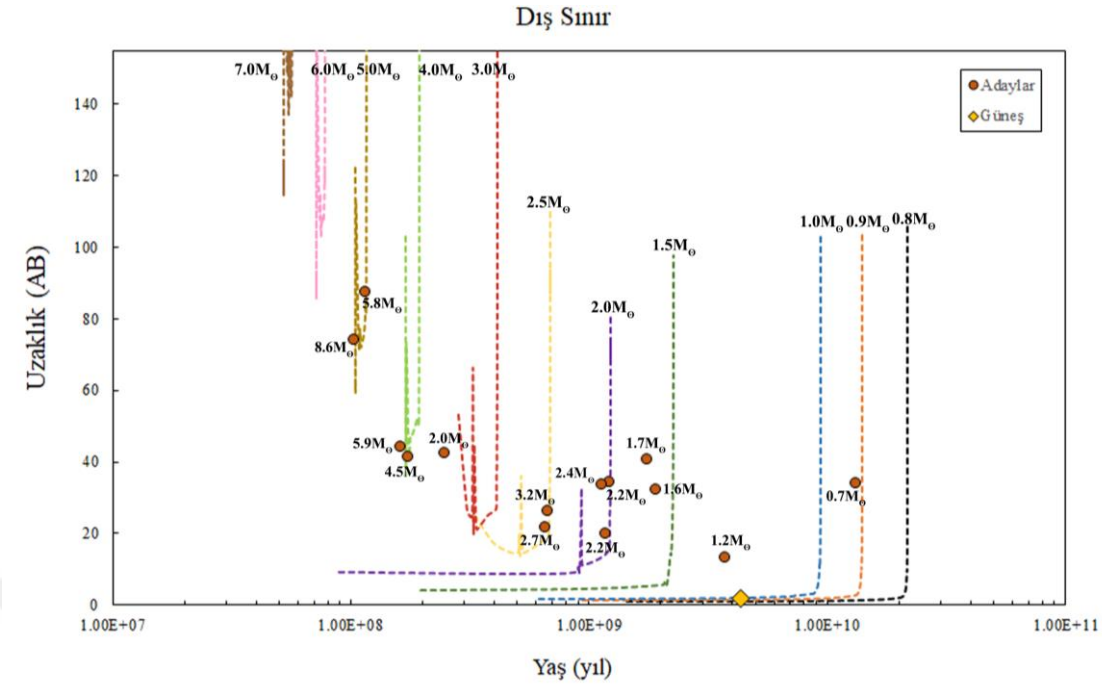
0.1) olarak elde edilmiştir. Buna göre hesapladığımız 5.79 $M_\odot$ kütle değeri oldukça düşük kalmaktadır. Bunun yanı sıra, Kervella vd. nin (2019) çalışmasında bazı adaylarımız için hesaplanan R değerlerinin, hesapladığımız değerlerden ortalama 12 $R_\odot$'lik bir farka sahip olduğunu gördük. Bu durumda aday yıldızlarımız için hesapladığımız parametrelerin, başta Kervella vd.nin (2019) yaptığı çalışma olmak üzere literatürde verilen parametreler ile farklılıkların başlıca sebebi olarak, kullanılan yöntemlerin birbirinden farklı olması gösterilebilir. Çünkü çalışmalarda aday yıldızlar için elde edilen parametreler ya SED analizleri ya da yıldızların renk parlaklık grafiklerinden elde edilmiştir.

Çalışmanın bir diğer hedeflerden birisi de aday yıldızlarımızın yaşanabilir bölge sınırlarının belirlenmesiydi. Çalışma kapsamında aday yıldızlarımız için bu sınır değerler hesaplandı ve çizelge 4.4'te sunuldu. Ayrıca, bulunan bu sınır değerlerinin ana kol karşılıkları için de hesaplandı. Çalışmada kullanılan yıldızların çoğunun dev yıldız olduğundan, yaşanabilir bölgenin normal ana kol yıldızına göre (veya Güneş'e göre) daha dışarıda ve yıldızına daha uzak olduğu görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur, çünkü bir yıldız ana koldan ayrılıp kırmızı dev aşamasına geçtikçe, evrimle birlikte yıldızın gezegenlerinin yörüngeleri de evrimleşir ve yaşanabilir bölge hızla dışarıya doğru hareket eder. Yıldızın bu evrede yüzey alanı artığından ışınım gücü de artar. Örneğin, Güneş'imizin kırmızı dev kolu (RGB) evresinin sonundayken şu anki parlaklığından 3.000 kat daha parlak hale gelmesi beklenmektedir. Bu artış YB'nin yıldızdan daha uzak bir noktaya kaymasına sebep olur. Örneğin, 1 $M_\odot$ yıldız için, yıldız ana koldan ayrıldığında ilk aşamada yaşanabilir bölge ortalama 2-9 AB aralığında yıldızdan dışarı doğru kayar ve bu geçiş birkaç 10 milyon ila 100 milyon yıl sürer. Helyum yakma aşamasında, sürekli yaşanabilir bölge 7-22 AB aralığında yer alır ve 100 milyon yıl kadar sürer. Özellikle K ve M tayf türünden yıldızların Helyum yakma evreleri daha uzun süreceğinden kararlı bir yaşanabilir bölge için uygun bir ortam oluşturabilir. Bu doğrultuda aday yıldızlar için hesaplanan yaşanabilir bölgelerin, ana kol yıldızı olduklarında daha dar ve yıldıza yakın bir konumda olduğu beklenirken, dev aşamasında yıldıza daha uzak konumda olması beklenmektedir. Zira, yıldızların ana kol aşamasında olmaları durumunda YB sınırlarının nasıl değiştiği görsellerde de (Şekil 4.74 ile 4.87 arasında) açıkça kıyaslanabilir. Tam da beklendiği gibi ana kol evresindeki durumuna

göre, kırmızı dev aşamasında YB sınırlarının yıldızdan daha dış kısımlara doğru hareket ettiği görülmektedir. Bununla birlikte aday yıldızların kütlelerine ve yaşlarına bağlı iyimser YB sınırlarının değişiminin nasıl olacağı da şekil 5.4 ve 5.5'te gösterilmektedir. Her iki şekilde de RGB aşamasında YB sınırlarının düz bir şekilde yukarı doğru artış göstermektedir. Dolayısıyla, aday yıldızların YB sınırları da evrim durumlarına bağlı olarak yukarı doğru artış gösteren bölgelede yer aldığı görülmektedir. Böylece bir ana kol yıldızından farklı olarak (örneğin şekil üzerindeki Güneş'in konumu) RGB aşamasında olan aday yıldızların YB sınırlarının değişimi kıyaslanmıştır.



Şekil 5.3 Aday yıldızların iyimser YB iç sınırlarının yaşlarına göre gösterimi. 1-7 $M_{\odot}$ kütleleri için teorik YB sınır hesaplamaları (Girardi vd. 2000) kesikli çizgilerle gösterilmektedir



Şekil 5.4 Aday yıldızların iyimser YB dış sınırlarının yaşlarına göre gösterimi. 1-7 $M_\odot$ kütleleri için teorik YB sınır hesaplamaları (Girardi vd. 2000) kesikli çizgilerle gösterilmektedir

Bir yıldız çevresinde sürekli bir yaşanabilir bölgede olan bir gezegen için, Dünya'daki gibi karmaşık bir yaşamın ortaya çıkması 2 Gyıl (Truitt et al. 2015) ile 4 Gyıl (Valle et al. 2014) sürmektedir. Bu durumda aday yıldızların bu yaş aralığında olanları, eğer YB sınırları içinde bir gezegene veya bir uyduya sahip olması durumunda karmaşık bir yaşam olma ihtimali taşıyabilir. Yıldız evrimi ile yaşanabilir bölge değişimi her evrim aşaması için farklı sonuçlar doğurmaktadır ve bu da yaşanabilirlik üzerinde belki olumlu belki de olumsuz koşullar geliştirebilir. Bunun yanı sıra yıldız parametreleri de yıldızların YB sınırlarını önemli ölçüde etkiler. YB sınırları belirlenirken kullanılan yöntem ışınım gücüne ve etkin sıcaklığa doğrudan bağımlıdır. Yıldızların metal bolluğu da YB sınırlarının konumunu etkilemektedir. Özellikle metalce fakir yıldızlarda, yıldızın ışınım gücünde ve sıcaklığındaki değişimden dolayı yıldızın YB'sinin daha dışarıda yer alırken, metalce zengin yıldızlarda ise tam tersi daha içerde bulunmaktadır (Gallet vd. 2017).

Kervella vd. nin (2019) çalışmasında aday yıldızlarımızın bazılarının etrafında olası alt bileşen hesaplamaları da yapılmıştır. Çalışmaya göre, HD 11844 yıldızının etrafındaki olası bileşenin kütlesi 117.8 $M_{jüpiter}$ olarak hesaplanmıştır. Bunun dışında diğer adayların etrafındaki olası bileşenlerinin ortalama kütle değerinin 17 $M_{jüpiter}$ civarında olduğu görülmektedir. Bu çalışmaya göre, bu yıldız-altı bileşenlerin dev gaz gezegenler veya kahverengi cüce olabileceği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu dev gezegenlerde bir yaşam olmayabilir ancak uyduları YB içinde yer alıyorsa, bu uydular yaşanabilirlik için uygun adaylar haline gelebilir. Örneğin, gelecekte, Güneşimiz bir kırmızı dev aşamasına geldiğinde, Güneş Sistemi'ndeki YB'de dış gezegenlere doğru kayması beklenmektedir. Dolayısıyla Jüpiter ve Satürn'ün uyduları, yaşanabilirlik için aday olabilirler. Bu bağlamda, yaptığımız bu hesaplamalar, farklı tayf türü ve evrim aşamasındaki yıldızların etrafındaki olası yaşanabilir bölgelerin nasıl evrimleşebileceği konusunda da önemli ipuçları sağlayabilir. Çoğu gezegen araştırması ana kol yıldızlarına odaklansa da, evrimleşmiş yıldızlar etrafındaki gezegen sistemleri, gezegen oluşumunun aşırı koşullardaki ilerleyişine ve yaşanabilir bölgenin bu koşullar ile nasıl değiştiğine dair önemli ipuçları sunabilir. Bu bağlamda dev yıldızlarda tıpkı ana kol yıldızları gibi, yaşanabilir bölge ve yaşam için önemli bilgiler sunabilir. Özellikle K ve M tayf türünden yıldızlarda ana kol dizisindeyken gelişmesi zor olabilecek yaşanabilirlik için, kırmızı dev evrelerinde yaşanabilir bölgelerin genişlemesi, yaşamın ortaya çıkması ve gelişmesi için önemli bir potansiyel sağlayabilir. Şimdilik yaşanabilir bölgelerde tespit edilen tüm gezegenler, barınak yıldızlarının evrimlerinin erken aşamalarında yer alsa bile ileride daha güçlü cihazlarla yapılan gözlemler sayesinde, evrimin ilerleyen aşamalarındaki yıldızların etrafında da daha fazla yaşanabilir gezegen keşfinin mümkün olabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu tür çalışmalar gelecekteki araştırmalar için potansiyel bir aday havuzu oluşturulması bakımından önemlidir. Çalışmanın bir diğer önemli yanı ise astrofiziğin birçok alanında ihtiyaç duyulan yıldız atmosfer ve fiziksel parametrelerin literatüre kazandırılmış olmasıdır. Seçtiğimiz aday yıldızların daha önce böyle bir çalışmaya sahip olmaması ve çalışma kapsamında tayfsal analiz ile elde ettiğimiz bu parametre setleri sayesinde bu eksiklik doldurulmaya çalışıldı.

KAYNAKLAR

Abe, Y. Abe-Ouchi, A., Sleep, N.H. ve Zahnle, K.J. 2011. Habitable zone limits for dry planets. Astrobiology, 11(5), 443-460.

Adibekyan, V.Zh., Sousa, S.G., Santos, N.C., Delgado Mena, E., González Hernández, J.I., Israelian, G., Mayor, M., Khachatryan, G. 2012. Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS GTO planet search program. Galactic stellar populations and planets. Astronomy & Astrophysics, 545, A32, 15.

Adibekyan, V.Zh., González Hernández, J.I., Delgado Mena, E., Sousa, S.G., Santos, N.C., Israelian, G., Figueira, P. ve Bertran de Lis, S. 2014. On the origin of stars with and without planets. Tc trends and clues to Galactic evolution. Astronomy & Astrophysics, 564, L15, 6.

Aleo, P.D., Sobotka, A.C. ve Ramírez, I. 2017. On the iron abundance anomaly in K-dwarf and Hyades stars. The Astrophysical Journal, 846 (1), 24.

Allard, F., Guillot, T., Ludwig, H.-G., Hauschildt, P.H., Schweitzer, A., Alexander, D.R. ve Ferguson, J.W. 2003. Model atmospheres and spectra: The role of dust. Brown Dwarfs, Proceedings of IAU Symposium, 20-24 May 2002, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, Astronomical Society of the Pacific, vol 211, 325.

Allard, F., Homeier, D., Freytag, B. 2012. Models of very-low-mass stars, brown dwarfs and exoplanets. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 370 (1968), 2765-2777.

Alves, S., Benamati, L., Santos, N.C., Adibekyan, V.Zh., Sousa, S.G., Israelian, G., Medeiros, J.R. De, Lovis, C. ve Udry, S. 2015. Determination of the spectroscopic stellar parameters for 257 field giant stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448(3) 2749-2765.

Amarsi, A.M., Lind, K., Asplund, M., Barklem, P.S., Collet, R., 2016. Non-LTE line formation of Fe in late-type stars-III. 3D non-LTE analysis of metal-poor stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 463 (2), 1518-1533.

Amarsi, A.M., Liljegren, S. ve Nissen, P.E. 2022. Astronomy & Astrophysics, 668, A68, 16.

Asplund, M. 2005. New light on stellar abundance analyses: Departures from LTE and homogeneity. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 43, 481-530.

Auvergne, M., Bodin, P., Boisnard, L., Buey J-T., Chaintreuil, S., Epstein, G., Jouret, M., Lam-Trong T., Levacher,P., Magnan, A., Perez, R., Plasson, P., Plesseria J., Peter, G., Steller, M., Tiphené, D.1, Baglin, A.1, Agogué, P., Appourchaux, T., Barbet, D., Beaufort, T., Bellenger, R., Berlin, R., Bernardi, P., Blouin, D., Boumier, P., Bonneau, F., Briet, R., Butler, B., Cautain, R., Chiavassa, F., Costes, V., Cuvilho, J., Cunha-Parro, V., De Oliveira Fialho, F., Decaudin, M., Defise, J-M., Djalal, S., Docclo, A., Drummond, R., Dupuis, O., Exil, G., Fauré, C., Gaboriaud, A., Gamet, P., Gavalda, P., Grolleau, E., Gueguen, L., Guivarćh, V., Guterman, P., Hasiba, J., Huntzinger, G., Hustaix, H., Imbert, C., Jeanville, G., Johlander, B.,

Jorda, L., Journoud, P., Karioty, F., Kerjean, L., Lafond, L., Lapeyrere, V., Larqué, T., Laudet, P., Le Merrer, J., Leporati, L., Leruyet, B., Levieuge, B., Llebaria, A., Martin, L., Mazy, E., Mesnager, J-M., Michel, J-P., Moalic, J-P., Monjoin, W., Naudet, D., Neukirchner, S., Nguyen-Kim, K., Ollivier, M., Orcesi, J-L., Ottacher, H., Oulali, A., Parisot, J., Perruchot, S., Piacentino, A., Pinheiro da Silva, L., Platzer, J., Pontet, B., Pradines, A., Quentin, C., Rohbeck, U., Rolland, G., Rollenhagen, F., Romagnan, R., Russ, N., Samadi, R., Schmidt, R., Schwartz, N., Sebbag, I., Smit, H., Sunter, W., Tello, M., Toulouse, P., Ulmer, B., Vandermarcq, O., Vergnault, E., Wallner, R., Waultier, G., Zanatta, P. 2009. The CoRoT satellite in flight: description and performance. Astronomy & Astrophysics, 506 (1), 411-424.

Baraffe, I., Homeier, D., Allard, F. ve Chabrier, G. 2015. New evolutionary models for pre-main sequence and main sequence low-mass stars down to the hydrogen-burning limit. Astronomy & Astrophysics, 577, A42, 6.

Bergemann, M. ve Nordlander, T. 2014. NLTE Radiative transfer in cool stars. In: Determination of Atmospheric Parameters of B-, A-, F-and G-Type Stars, Niemczura, E., Smalley, B. ve Pych, W. (eds), GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 169-185, Cham.

Blanco-Cuaresma, S. 2019. Modern stellar spectroscopy caveats. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 486 (2), 2075-2101.

Boeche, C. ve Grebel, E.K. 2016. SP_Ace: a new code to derive stellar parameters and elemental abundances. Astronomy & Astrophysics, 587, A2, 35.

Bonnefoy, M., Perraut, K., Lagrange, A.-M., Delorme, P., Vigan, A., Line, M., Rodet, L., Ginski, C., Mourard, D., Marleau, G.-D., Samland, M., Tremblin, P., Ligi, R., Cantalloube, F., Mollière, P., Charnay, B., Kuzuhara, M., Janson, M., Morley, C., Homeier, D., D'Orazi, V., Klahr, H., Mordasini, C., Lavie, B., Baudino, J.-L., Beust, H., Peretti, S., Musso Bartucci, A., Mesa, D., Bézard, B., Boccaletti, A., Galicher, R., Hagelberg, J., Desidera, S., Biller, B., Maire, A.-L., Allard, F., Borgniet, S., Lannier, J., Meunier, N., Desort, M., Alecian, E., Chauvin, G., Langlois, M., Henning, T., Mugnier, L., Mouillet, D., Gratton, R., Brandt, T., Mc Elwain, M., Beuzit, J.-L., Tamura, M., Hori, Y., Brandner, W., Buenzli, E., Cheetham, A., Cudel, M., Feldt, M., Kasper, M., Keppler, M., Kopytova, T., Meyer, M., Perrot, C., Rouan, D., Salter, G., Schmidt, T., Sissa, E., Zurlo, A., Wildi, F., Blanchard, P., De Caprio, V., Delboulbé, A., Maurel, D., Moulin, T., Pavlov, A., Rabou, P., Ramos, J., Roelfsema, R., Rousset, G., Stadler, E., Rigal, F., Weber, L. 2018. The GJ 504 system revisited. Combining interferometric, radial velocity, and high contrast imaging data. Astronomy & Astrophysics, 618, A63, 32.

Borucki, W.J., Koch, D., Basri, G., Batalha, N., Brown, T., Caldwell, D., Caldwell J., Christensen-Dalsgaard, J., Cochran, W.D., DeVore, E., Dunham, E.W., Dupree, A.K., Gautier III, T.N., Geary J.C., Gilliland, R., Gould A., Howell, B.S., Jenkins, J.M., Kondo Y., Latham, D.W., Marcy G.W., Meibom, S., Kjeldsen H., Lissauer, J.J., Monet, D.G., Morrison, D., Sasselov, D., Tarter, J., Boss, A., Brownlee, D., Owen, T., Buzasi, D., Charbonneau, D., Doyle, L., Fortney, J., Ford, E.B.,

Holman, M.J., Seager, S., Steffen, J.H., Welsh, W.F., Rowe, J., Anderson, H., Buchhave, L., Ciardi, D., Walkowicz, L., Sherry, W., Horch, E., Isaacson, H., Everett, M.E., Fischer, D., Torres, G., Johnson, J.A., Endl, M., MacQueen, P., Bryson, S.T., Dotson, J., Haas, M., Kolodziejczak, J., Cleve, J.V., Chandrasekaran, H., Twicken, J.D., Quintana, E.V., Clarke, B.D., Allen, C., Li, J., Wu, H., Tenenbaum, P., Verner, E., Bruhweiler, F., Barnes, J., Prsa A. 2010. Kepler planet-detection mission: introduction and first results. Science, 327(5968), 977-980.

Borucki, W.J. 2016. KEPLER mission: development and overview. Reports on Progress in Physics, 79 (3).

Brewer, J.M., Fischer, D.A., Valenti, J.A. ve Piskunov, N. 2016, Spectral properties of cool stars: extended abundance analysis of 1,617 planet-search stars. The Astrophysical Journal Supplement Series, 225 (2), 32.

Calzetti, D. 2001. The dust opacity of star-forming galaxies. The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 113 (790), 1449-1485.

Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., 1989, "The Relationship between Infrared, Optical, and Ultraviolet Extinction" ApJ, 345, 245-256.

Castelli, F. ve Kurucz, R.L. 2003. New Grids of ATLAS9 Model Atmospheres. Modelling of Stellar Atmospheres, 210th Symposium of the International Astronomical Union, 17-21 June, Uppsala University, IAU by the Astronomical Society of the Pacific, A20.

Catanzaro, G., Ripepi, V. ve Bruntt, H. 2013. Testing different methods for atmospheric parameters determination.The case study of the Am star HD 71297. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 431(4), 3258-3268.

Catanzaro, G. 2014, How to determine surface gravity from stellar spectra, In: Determination of Atmospheric Parameters of B-, A-, F-and G-Type Stars, Niemczura, E., Smalley, B. ve Pych, W. (eds), GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 9-23. Cham.

Cockell, C.S., Bush, T., Bryce, C., Direito, S., Fox-Powell, M., Harrison, J.P., Lammer, H., Landenmark, H., Martin-Torres, J., Nicholson, N., Noack, L., O'Malley-James, J., Payler, S.J., Rushby, A., Samuels, T., Schwendner, P., Wadsworth, J., ve Zorzano, M. P. 2016. Habitability: A Review. Astrobiology, 16 (1), 88-117.

Creevey, O.L., Doğan, G., Frasca, A., Thygesen, A.O., Basu, S., Bhattacharya, J., Biazzo, K., Brandão, I.M., Bruntt, H., Mazumdar, A., Niemczura, E., Shrotriya, T., Sousa, S.G., Stello, D., Subramaniam, A., Campante, T.L., Handberg, R., Mathur, S., Bedding, T.R., García, R.A., Régulo, C., Salabert, D., Molenda-Żakowicz, J., Quirion, P.-O., White, T.R., Bonanno, A., Chaplin, W.J., Christensen-Dalsgaard, J., Christiansen, J.L., Elsworth, Y., Fanelli, M.N., Karoff, C., Kinemuchi, K., Kjeldsen, H., Gai, N., Monteiro, M.J.P.F.G., Suárez, J.C. 2012. Fundamental properties of five Kepler stars using global asteroseismic quantities and ground-based observations. Astronomy & Astrophysics, 537, A111, 17.

de Medeiros, J.R. ve Mayor, M. 1999. A catalog of rotational and radial velocities for evolved stars. Astronomy and Astrophysics Supplement, 139, 433-460.

De Silva, G.M., Freeman, K.C., Bland-Hawthorn, J., Martell, S., de Boer, E.Wylie; Asplund, M., Keller, S., Sharma, S., Zucker, D.B., Zwitter, T., Anguiano, B., Bacigalupo, C., Bayliss, D., Beavis, M.A., Bergemann, M., Campbell, S., Cannon, R., Carollo, D., Casagrande, L., Casey, A.R., Da Costa, G., D'Orazi, V., Dotter, A., Duong, L., Heger, A., Ireland, M.J., Kafle, P.R., Kos, J., Lattanzio, J., Lewis, G.F., Lin, J., Lind, K., Munari, U., Nataf, D.M., O'Toole, S., Parker, Q., Reid, W., Schlesinger, K.J., Sheinis, A., Simpson, J.D., Stello, D., Ting, Y.-S., Traven, G., Watson, F., Wittenmyer, R., Yong, D., Žerjal, M. 2015. The GALAH survey: scientific motivation. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449 (3), 2604-2617.

Delgado Mena, E., Lovis, C., Santos, N.C., Gomes da Silva, J., Mortier, A., Tsantaki, M., Sousa, S.G., Figueira, P., Cunha, M.S.,Campante, T.L., Adibekyan, V., Faria, J.P., Montalto, M. 2018. Planets around evolved intermediate-mass stars. II. Are there really planets around IC 4651 No. 9122, NGC 2423 No. 3, and NGC 4349 No. 127?. Astronomy & Astrophysics, 619, A2, 13.

Deng, L.Ca., Newberg H.J., Chao, L., Carlin, J.L., Beers, T.C., Chen, L, Chen, Y.-Q., Christlieb, N., Grillmair, C.J., Guhathakurta, P., Han, Z.-W., Hou, J.-L,, Lee, H.-T., Lépine, S., Li J., Liu, X.-W., Pan, K.-K., Sellwood, J.A., Wang, B., Wang, H.-C., Yang, F., Yanny, B., Zhang, H.-T., Zhang, Y.-Y., Zheng, Z.ve Zhu Z. 2012. LAMOST Experiment for Galactic Understanding and Exploration (LEGUE)-The survey's science plan. Research in Astronomy & Astrophysics, 12 (7), 735-755.

Des Marais, D.J., Nuth, J.A., Allamandola, L.J., Boss, A.P., Farmer, J.D., Hoehler T.M., Jakosky, B.M., Meadows, V.S., Pohorille, A., Runnegar, B. ve Spormann, A.M. 2008. The NASA astrobiology roadmap. Astrobiology, 8 (4), 715-730.

Donahue, T.M., Hoffman, J.H., Hodges, R.R. ve Watson, A.J. 1982. Venus was wet: A measurement of the ratio of deuterium to hydrogen. Science, 216 (4546), 630-633.

Dotter, A. 2016. MESA Isochrones and Stellar Tracks (MIST) 0: Methods for the Construction of Stellar Isochrones. The Astrophysical Journal Supplement Series, 222 (1), 11.

Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., Soydugan, F., Steer, I., Soydugan, E., Bakış, H., Aliçavuş, F., Aslan, G. ve Alpsoy, M. 2018. Interrelated main-sequence mass–luminosity, mass–radius, and mass–effective temperature relations. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 479, 5491-5511.

Eker, Z., Soydugan, F., Bilir, S., Bakış, V., Aliçavuş, F., Özer, S., Aslan, G., Alpsoy, M. ve Köse, Y. 2020. Empirical bolometric correction coefficients for nearby main-sequence stars in the Gaia era. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 496 (3), 3887-3905.

Ezzeddine, R., Frebel, A. ve Plez, B. 2017. Ultra-metal-poor Stars: Spectroscopic determination of stellar atmospheric parameters using iron Non-LTE line abundances. The Astrophysical Journal, 847 (2), 12.

Famaey, B., Jorissen, A., Luri, X., Mayor, M., Udry, S., Dejonghe, H. ve Turon, C. 2005. Local kinematics of K and M giants from CORAVEL/Hipparcos/Tycho-2 data. Revisiting the concept of superclusters. Astronomy and Astrophysics, 430, 165-186.

Fitzpatrick, E.L. 1999. Correcting for the effects of interstellar extinction. The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 111 (755),63-75.

Gaia Collaboration. 2016. The Gaia mission. Astronomy & Astrophysics, 595, 36.

Gaia Collaboration. 2018. Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties. Astronomy & Astrophysics, 616, 15.

Gaia collaboration, 2023, Gaia Data Release 3 - Summary of the content and survey properties. Astronomy & Astrophysics, 674, A1.

Gallet, F., Charbonnel, C., Amard, L.,Brun,S., Palacios, A. ve Mathis, S. 2017. Impacts of stellar evolution and dynamics on the habitable zone: The role of rotation and magnetic activity. Astronomy & Astrophysics, 597, A14.

García Pérez, A.E., Allende P.C., Holtzman, J.A., Shetrone, M., Mészáros, S., Bizyaev, D., Carrera, R., Cunha, K., García-Hernández, D.A., Johnson, J.A., Majewski, S.R. Nidever, D.L., Schiavon, R.P., Shane, N., Smith, V.V., Sobeck, J., Troup, N., Zamora, O., Weinberg, D.H., Bovy, J., Eisenstein, D.J., Feuillet, D., Frinchaboy, P.M., Hayden, M.R., Hearty, F.R., Nguyen, D.C., O'Connell, R.W., Pinsonneault, M.H., Wilson, J. C., Zasowski, G. 2016. ASPCAP: The APOGEE Stellar Parameter and Chemical Abundances Pipeline. The Astronomical Journal, 151 (6), 20.

Gerber, J.M., Magg, E., Plez, B., Bergemann, M., Heiter, U., Olander, T., Hoppe, R. 2023. Non-LTE radiative transfer with Turbospectrum. Astronomy & Astrophysics, 669, A43, 14.

Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G. ve Chiosi, C. 2000. Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7 Msun, and from Z=0.0004 to 0.03. Astronomy and Astrophysics Supplement, 141, 371-383

Gill, S., Maxted, P.F.L. ve Smalley, B. 2018. The atmospheric parameters of FGK stars using wavelet analysis of CORALIE spectra. Astronomy & Astrophysics, 612, A111, 14

Gilmore, G., Randich, S., Asplund, M., Binney, J., Bonifacio, P., Drew, J., Feltzing, S., Ferguson, A., Jeffries, R., Micela, G., Negueruela, I., Prusti, T., Rix, H.-W., Vallenari, A., Alfaro, E., Allende-Prieto, C., Babusiaux, C., Bensby, T., Blomme, R., Bragaglia, A., Flaccomio, E., François, P., Irwin, M., Koposov, S., Korn, A., Lanzafame, A., Pancino, E., Paunzen, E., Recio-Blanco, A., Sacco, G., Smiljanic, R., Van Eck, S., Walton, N., Aden, D., Aerts, C., Affer, L., Alcala, J.-M., Altavilla, G., Alves, J., Antoja, T., Arenou, F., Argiroffi, C., Asensio Ramos, A., Bailer-Jones, C., Balaguer-Nunez, L., Bayo, A., Barbuy, B., Barisevicius, G., Barrado y

Navascues, D., Battistini, C., Bellas Velidis, I., Bellazzini, M., Belokurov, V., Bergemann, M., Bertelli, G., Biazzo, K., Bienayme, O., Bland-Hawthorn, J., Boeche, C., Bonito, S., Boudreault, S., Bouvier, J., Brandao, I., Brown, A., de Bruijne, J., Burleigh, M., Caballero, J., Caffau, E., Calura, F., Capuzzo-Dolcetta, R., Caramazza, M., Carraro, G., Casagrande, L., Casewell, S., Chapman, S., Chiappini, C., Chorniy, Y., Christlieb, N., Cignoni, M., Cocozza, G., Colless, M., Collet, R., Collins, M., Correnti, M., Covino, E., Crnojevic, D., Cropper, M., Cunha, M., Damiani, F., David, M., Delgado, A., Duffau, S., Edvardsson, B., Eldridge, J., Enke, H., Eriksson, K., Evans, N.W., Eyer, L., Famaey, B., Fellhauer, M., Ferreras, I., Figueras, F., Fiorentino, G., Flynn, C., Folha, D., Franciosini, E., Frasca, A., Freeman, K., Fremat, Y., Friel, E., Gaensicke, B., Gameiro, J., Garzon, F., Geier, S., Geisler, D., Gerhard, O., Gibson, B., Gomboc, A., Gomez, A., Gonzalez-Fernandez, C., Gonzalez Hernandez, J., Gosset, E., Grebel, E., Greimel, R., Groenewegen, M., Grundahl, F., Guarcello, M., Gustafsson, B., Hadrava, P., Hatzidimitriou, D., Hambly, N., Hammersley, P., Hansen, C., Haywood, M., Heber, U., Heiter, U., Held, E., Helmi, A., Hensler, G., Herrero, A., Hill, V., Hodgkin, S., Huelamo, N., Huxor, A., Ibata, R., Jackson, R., de Jong, R., Jonker, P., Jordan, S., Jordi, C., Jorissen, A., Katz, D., Kawata, D., Keller, S., Kharchenko, N., Klement, R., Klutsch, A., Knude, J., Koch, A., Kochukhov, O., Kontizas, M., Koubsky, P., Lallement, R., de Laverny, P., van Leeuwen, F., Lemasle, B., Lewis, G., Lind, K., Lindstrom, H.P.E., Lobel, A., Lopez Santiago, J., Lucas, P., Ludwig, H., Lueftinger, T., Magrini, L., Maiz Apellaniz, J., Maldonado, J., Marconi, G., Marino, A., Martayan, C., Martinez-Valpuesta, I., Matijevic, G., McMahon, R., Messina, S., Meyer, M., Miglio, A., Mikolaitis, S., Minchev, I., Minniti, D., Moitinho, A., Momany, Y., Monaco, L., Montalto, M., Monteiro, M.J., Monier, R., Montes, D., Mora, A., Moraux, E., Morel, T., Mowlavi, N., Mucciarelli, A., Munari, U., Napiwotzki, R., Nardetto, N., Naylor, T., Naze, Y., Nelemans, G., Okamoto, S., Ortolani, S., Pace, G., Palla, F., Palous, J., Parker, R., Penarrubia, J., Pillitteri, I., Piotto, G., Posbic, H., Prisinzano, L., Puzeras, E., Quirrenbach, A., Ragaini, S., Read, J., Read, M., Reyle, C., De Ridder, J., Robichon, N., Robin, A., Roeser, S., Romano, D., Royer, F., Ruchti, G., Ruzicka, A., Ryan, S., Ryde, N., Santos, N., Sanz Forcada, J., Sarro Baro, L.M., Sbordone, L., Schilbach, E., Schmeja, S., Schnurr, O., Schoenrich, R., Scholz, R.-D., Seabroke, G., Sharma, S., De Silva, G., Smith, M., Solano, E., Sordo, R., Soubiran, C., Sousa, S., Spagna, A., Steffen, M., Steinmetz, M., Stelzer, B., Stempels, E., Tabernero, H., Tautvaisiene, G., Thevenin, F., Torra, J., Tosi, M , Tolstoy, E., Turon, C., Walker, M., Wambsganss, J., Worley, C., Venn, K., Vink, J., Wyse, R., Zaggia, S., Zeilinger, W., Zoccali, M., Zorec, J., Zucker, D., Zwitter, T., Gaia-ESO Survey Team. 2012. The Gaia-ESO public spectroscopic survey. The Messenger, 147, 25-31.

Gillon, Mi., Triaud, A.H.M.J., Demory, B.-O., Jehin, E., Agol, E., Deck, K.M., Lederer, S.M., de Wit, J., Burdanov, A., Ingalls, J.G., Bolmont, E., Leconte, J., Raymond, S.N., Selsis, F., Turbet, M., Barkaoui, K., Burgasser, A., Burleigh, M.R., Carey, S.J., Chaushev, A., Copperwheat, C.M., Delrez, L., Fernandes, C.S., Holdsworth, D.L., Kotze, E.J., Van Grootel, V., Almleaky, Y., Benkhaldoun, Z., Magain, P.,

Queloz, D. 2017. Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1. Nature, 542 (7642), 456-460.

Gizis, J.E., Reid, I.N. ve Hawley, S.L. 2002. The palomar/msu nearby star spectroscopic survey. iii. Chromospheric activity, M dwarf ages, and the local star formation history. The Astronomical Journal, 123(6), 3356-3369.

Glaser, D.M., Hartnett, H.E., Desch, S.J., Unterborn, C.T., Anbar, A. Buessecker, S., Fisher, T., Glaser, S., Kane, S.R., Lisse, C.M., Millsaps, C., Neuer, S., O'Rourke, J.G., Santos, N., Walker, S.I., Zolotov, M. 2020. Detectability of life using Oxygen on pelagic planets and water worlds. The Astrophysical Journal, 893 (2), 13.

Goldblatt C. ve Watson A.J., 2012. The runaway greenhouse: Implications for future climate change, geoengineering and planetary atmospheres. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 370 (1974), 4197-4216.

Gray, D.F. 1996. The determination of temperature from spectral lines, Stellar surface structure: proceedings of the 176th Symposium of the International Astronomical Union, 9-13 October 1995. Vienna, Austria, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 227.

Gray, D.F. 2005. The observation and analysis of stellar photospheres, 3rd edition, Cambridge University Press, 552, Cambridge.

Gray, R.O. ve Corbally, C.J. 2009. Stellar Spectral Classification. Princeton University Press, Spergel, D. N. (eds), Princeton University Press, New Jersey.

Gustafsson, B., Bell, R.A., Eriksson, K. ve Nordlund, A. 1975. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars I. Astronomy and Astrophysics, 42, 407-432.

Gustafsson, B., Edvardsson, B., Eriksson, K., Jørgensen, U.G., Nordlund, Å., Plez, B. 2008. A grid of MARCS model atmospheres for late-type stars. I. Methods and general properties. Astronomy and Astrophysics, 486 (3),951-970.

Güdel, M. 2004. X-ray astronomy of stellar coronae. The Astronomy and Astrophysics Review, 12(2-3), 71-237.

Haqq-Misra, J., Wolf, E.T., Joshi, M., Zhang, X. ve Kumar, R. 2018. Demarcating circulation regimes of synchronously rotating terrestrial planets within the habitable zone. The Astrophysical Journal, 852(2), 16.

Hart, M.H. 1978. The evolution of the atmosphere of the earth. Icarus, 33(1), 23-39.

Hart, M.H. 1979. Habitable zones about main sequence stars. Icarus, 37(1), 351–357.

Hauschildt, P.H., Allard, F. ve Baron, E. 1999. The NextGen model atmosphere grid for 3000 <=Teff <=10,000 K. The Astrophysical Journal, 512 (1), 377-385.

Henden, A. ve Munari, U. 2014. The APASS all-sky, multi-epoch BVgri photometric survey. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Ples, 43(3), 518-522.

Huber, D., Ireland, M.J., Bedding, T.R., Brandão, I.M., Piau, L., Maestro, V., White, T.R., Bruntt, H., Casagrande, L., Molenda-Żakowicz, J., Silva Aguirre, V., Sousa, S.G., Barclay, T., Burke, C.J., Chaplin, W.J., Christensen-Dalsgaard, J., Cunha, M.S., De Ridder, J., Farrington, C.D., Frasca, A., García, R.A., Gilliland, R.L., Goldfinger, P.J., Hekker, S., Kawaler, S.D., Kjeldsen, H., McAlister, H.A., Metcalfe, T.S., Miglio, A., Monteiro, M.J.P.F.G., Pinsonneault, M.H., Schaefer, G.H., Stello, D., Stumpe, M.C., Sturmann, J., Sturmann, L., ten Brummelaar, T.A., Thompson, M.J., Turner, N., Uytterhoeven, K. 2012. Fundamental properties of stars using asteroseismology from kepler and CoRoT and interferometry from the CHARA array. The Astrophysical Journal, 760 (1), 12.

Huber, D., Chaplin, W, J., Christensen-Dalsgaard, J., Gilliland R.L.,, Kjeldsen, H., Buchhave, L.A., Fischer, D.A., Lissauer, J.J., Rowe, J.F., Sanchis-Ojeda, R., Basu, S., Handberg R., Hekker, S., Howard, A.W., Isaacson, H., Karoff, C., Latham, D.,W., Mikkel N.Lund, M.N., Lundkvist, M., Marcy, G.W., Miglio, A., Aguirre, V.S., Stello, D., Arentoft, T., Barclay, T., Bedding, T.R., Burke, C.J., Christiansen, J.L., Elsworth, Y.P., Haas, M.R., Kawaler, S.D., Metcalfe, T.S., Mullally, F., ve Thompson, S.E. 2013. Fundamental properties of Kepler planet-candidate host stars using asteroseismolog. The Astronomical Journal, 767 (2), 127.

Husser, T.-O., von Berg, S.W., Dreizler, S., Homeier, D., Reiners, A., Barman, T., Hauschildt, P.H. 2013. A new extensive library of PHOENIX stellar atmospheres and synthetic spectra. Astronomy & Astrophysics, 553, A6, 9.

Jackson, B., Barnes, R. ve Greenberg, R. 2008. Tidal heating of terrestrial extrasolar planets and implications for their habitability. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 391(1), 237-245.

Jiang, J.H., Rosen, P.E., Liu, C.X., Wen, Q., Chen, Y. 2024. Analysis of habitability and stellar habitable zones from observed exoplanets. eprint arXiv:2408.09296.

Jofré, E., Petrucci, R., Saffe, C., Saker, L., Artur de la Villarmois, E., Chavero, C., Gómez, M., ve Mauas, P.J.D. 2015. Stellar parameters and chemical abundances of 223 evolved stars with and without planets. Astronomy & Astrophysics, 574, A50, 46.

Jofre, P., Heiter, U. ve Soubiran, C. 2019. Accuracy and precision of industrial stellar abundances. Annual Review of Astronomy & Astrophysics, 57(1), 571-616.

Kane, S.R., Hill, M.L., Kasting, J.F., Kopparapu, R.K., Quintana, E.V., Barclay, T., Batalha, N.M., Borucki, W.J., Ciardi, D.R., Haghighipour, N., Hinkel, Natalie R., Kaltenegger, L. Selsis, F. ve Torres, G. 2016. A catalog of Kepler habitable zone exoplanet candidates. The Astrophysical Journal, 830 (1), 10.

Kasting, J.F., Whitmire, D. P. ve Reynolds, R. T. 1993. Habitable zones around main sequence stars. Icarus, 101 (1), 180-128.

Kasting, J.F. 1998. Runaway and moist greenhouse atmospheres and the evolution of Earth and Venus. Icarus, 74 (3), 3, 472-494.

Kervella, P., Arenou, F., Mignard, F. ve Thévenin, F. 2019. Stellar and substellar companions of nearby stars from Gaia DR2. Binarity from proper motion anomaly. Astronomy & Astrophysics, 623, 23.

Kobayashi, C., Umeda, H., Nomoto, K., Tominaga, N. ve Ohkubo, T. 2006. Galactic chemical evolution: Carbon through zinc. The Astronomical Journal, 653, 1145.

Kopparapu, R.K., Ramirez, R., Kasting, J.F., Eymet, V., Robinson, T.D., Mahadevan, S., Terrien, R.C., Domagal-Goldman, S., Meadows, V. ve Deshpande, R. 2013a. Habitable zones around main-sequence stars: new estimates. The Astrophysical Journal, 765 (2), 16.

Kopparapu, R.K., Ramirez, R., Kasting, J.F., Eymet, V., Robinson, T.D., Mahadevan, S., Terrien, R.C., Domagal-Goldman, S., Meadows, V. ve Deshpande, R. 2013b. Erratum: "Habitable zones around main-sequence stars: new estimates". The Astrophysical Journal, 770 (1), 3.

Kopparapu, R.K., Wolf, E.T., Haqq-Misra, J., Yang, J., Kasting, J. F., Meadows, V., Terrien, R. ve Mahadevan, S. 2016. The inner edge of the habitable zone for synchronously rotating planets around low-mass stars using general circulation models. The Astrophysical Journal, 819(1), 14.

Kulenthirarajah, L., Donati, J.-F., Hussain, G., Morin, J., Allard, F. 2019. Characterizing stellar parameters from high-resolution spectra of main sequence cool stars. I. The G2V–K2V stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 487 (1), 1335-1362.

Kunder, A., Kordopatis, G., Steinmetz, M., Zwitter, T., McMillan, P.J., Casagrande, L., Enke, H., Wojno, J., Valentini, M., Chiappini, C., Matijevič, G., Siviero, A., de Laverny, P., Recio-Blanco, A., Bijaoui, A., Wyse, R.F.G., Binney, J., Grebel, E.K., Helmi, A., Jofre, P., Antoja, T., Gilmore, G., Siebert, A., Famaey, B., Bienaymé, O., Gibson, B.K., Freeman, K.C., Navarro, J.F., Munari, U., Seabroke, G., Anguiano, B., Žerjal, M., Minchev, I., Reid, W., Bland-Hawthorn, J., Kos, J., Sharma, S.,Watson, F., Parker, Q.A., Scholz, R.-D., Burton, D., Cass, P., Hartley, M., Fiegert, K., Stupar, M., Ritter, A., Hawkins, K., Gerhard, O., Chaplin, W.J., Davies, G.R., Elsworth, Y.P., Lund, M.N., Miglio, A., Mosser, B. 2017. The Radial Velocity Experiment (RAVE): fifth data release. The Astronomical Journal,153 (2), 30.

Kurucz, R. 1993. ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid.. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1993.

Leblanc, F. 2010. An ıntroduction to stellar astrophysics. 352, United Kingdom.

Lee, Y.S., Beers, T.C., Sivarani, T., Johnson, J.A., An, D., Wilhelm, R., Allende Prieto, C., Koesterke, L., Re Fiorentin, P., Bailer-Jones, C.A.L., Norris, J.E., Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, H.J., Cudworth, K.M., Pan, K. 2008. The SEGUE stellar parameter pipeline. II. validation with galactic globular and open clusters. The Astronomical Journal, 136 (59), 2050-2069.

Li, Y. ve Ezzeddine, R. 2023. LOTUS: A (Non-) LTE Optimization Tool for Uniform Derivation of Stellar atmospheric parameters. The Astronomical Journal, 165 (4), 145, 19

Ligi, R., Creevey, O., Mourard, D., Crida, A., Lagrange, A.-M., Nardetto, N., Perraut, K., Schultheis, M., Tallon-Bosc, I., ten Brummelaar, T. 2016. Radii, masses, and ages of 18 bright stars using interferometry and new estimations of exoplanetary parameters. Astronomy & Astrophysics, 586, A94, 23.

Lind, K., Bergemann, M. ve Asplund, M. 2012. Non-LTE line formation of Fe in late-type stars-II. 1D spectroscopic stellar parameters. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427 (1), 50-60.

Lisse, C.M., Desch, S.J., Unterborn, C.T., Kane, S. R., Young, P.R., Hartnett, H.E., Hinkel, N.R., Shim, S.-H., Mamajek, E.E., Izenberg, N.R. 2020. A geologically robust procedure for observing rocky exoplanets to ensure that detection of atmospheric Oxygen is a modern earth-like biosignature. The Astrophysical Journal Letters, 898 (1), L17.

Loaiza-Tacuri, V., Cunha, K., Smith, V.V., Martinez, C.F., Ghezzi, L., Schuler, S.C. Teske, J. Howell, S.B. 2023. A spectroscopic analysis of a sample of K2 planet-host stars: stellar parameters, metallicities and planetary radii. The Astrophysical Journal, 946 (2). 24.

Lyons, T.W., Reinhard, C.T. ve Planavsky, N.J. 2014. The rise of oxygen in earth's early ocean and atmosphere. Nature, 506 (7488), 307-315.

Magrini, L., Randich, S., Friel, E., Spina, L., Jacobson, H., Cantat-Gaudin, T., Donati, P., Baglioni, R., Maiorca, E., Bragaglia, A., Sordo, R., Vallenari, A. 2013. FAMA: An automatic code for stellar parameter and abundance determination. Astronomy & Astrophysics, 558, A38, 10.

Majewski, S.R., Schiavon, R.P., Frinchaboy, P.M., Prieto, C.A., Barkhouser, R., Dmitry Bizyaev, D.Blank, B., Brunner, S., Burton, A., Carrera, R., Chojnowski, S.D., Cunha, K., Epstein, C., Fitzgerald, G., Pérez, A.E.G., Hearty,F.R., Henderson, C., Holtzman, J.A.,.Johnson J.A. , Lam, C.R., Lawler, J.E., Maseman, P., Mészáros, S., Nelson, M., Nguyen, D.C., Nidever, D.L., Pinsonneault, M., Shetrone, M., Smee, S., Smith, V.V., Stolberg, T., Skrutskie, M.F., Walker, E.W., Wilson, J.C., Zasowski, G., Anders, F., Basu, S., Beland, S., Blanton, M.R., Bovy, J., Brownstein, J.R., Carlberg, J., Chaplin, W., Chiappini, C., Eisenstein, D.J., Elsworth, Y., Feuillet, D., Fleming, S.W., Galbraith-Frew, J., García, R.A., García-Hernández, D.A., Gillespie, B.A., Girardi, L., Gunn, J.E., Hasselquist, S., Hayden, M.R., Hekker, S., Ivans, I., Kinemuchi, K., Klaene, M., Mahadevan, S., Mathur, S., Mosser, B., Muna, B.D., Munn, J.A., Nichol, R.C., O'Connell, R.W., Parejko, J.K., Robin, A.C., Rocha-Pinto, H., Schultheis, M., Serenelli, A.M., Shane, N., Aguirre, V.S., Sobeck, J.S., Thompson, B., Troup, N.W., Weinberg, D.H.ve Zamora, O. 2017. The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE). The Astronomical Journal, 154 (3), 94

Mann, A. W., Dupuy, T., Kraus, L.A., Gaidos, E., Ansdell, M., Ireland, Rizzuto, A.C., Hung, L.-C., Dittamann J. ve Factor, S., Feiden, G., Martinez, R.A., Ruíz-

Rodríguez, D., Thao, Pa 2019. How to constrain your M dwarf. II. The mass–luminosity–metallicity relation from 0.075 to 0.70 solar masses. The Astronomical Journal, 871(1), 63.

Marfil, E., Tabernero, H.M., Montes, D., Caballero, J.A., Soto, M.G., González Hernández, J.I., Kaminski, A., Nagel, E., Jeffers, S.V., Reiners, A., Ribas, I., Quirrenbach, A., Amado, P.J. 2019. Stellar atmospheric parameters of FGK-type stars from high-resolution optical and near-infrared CARMENES spectra. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 492 (4), 5470-5507.

Mashonkina, L., Korn, A.J. ve Przybilla, N. 2007. A non-LTE study of neutral and singly-ionized calcium in late-type stars. Astronomy & Astrophysics, 461 (1), 261-275.

McDonald, I., Zijlstra, A.A. ve Boyer, M. L. 2012. Fundamental parameters and infrared excesses of Hipparcos stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427 (1), 343-357.

McKenzie, M., Yong, D., Marino, A.F., Monty, S., Wang, E., Karakas, A.I., Milone, A.P., Legnardi, M.V., Roederer, I.U., Martell, S., Horta, D. 2022. The complex stellar system M 22: confirming abundance variations with high precision differential measurements. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 516 (3), 3515-3531.

McWilliam, A. 1997. Abundance ratios and galactic chemical evolution. Annual Review of Astronomy & Astrophysics, 35 (1), 503.

Mikulášek, Z., Semenko, E., Paunzen, E., Hümmerich, S., North, P. L., Bernhard, K., Krtička, J., Janík, J. 2022. HD 60431, the CP2 star with the shortest rotational period. Physical parameters and period analysis. Astronomy & Astrophysics, 668, A159, 13.

Mischna, M.A., Kasting, J.F., Pavlov, A.A. ve Freedman, R. 2000 Influence of carbon dioxide clouds on early Martian climate. Icarus, 145 (2), 546-554.

Montes, D., González-Peinado, R., Tabernero, H.M., Caballero, J.A., Marfil, E., Alonso-Floriano, F.J., Cortés-Contreras, M., González Hernández, J.I., Klutsch, A., Moreno-Jódar, C. 2018. Calibrating the metallicity of M dwarfs in wide physical binaries with F-, G-, and K-primaries-I: High-resolution spectroscopy with HERMES: stellar parameters, abundances, and kinematics. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 479 (1), 1332-1382.

Morrell, S. ve Naylor, T. 2019. Exploring the M-dwarf Luminosity-Temperature-Radius relationships using Gaia DR2. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 489 (2), 2615-2633.

Morton, T.D. 2015. isochrones: Stellar model grid package. Astrophysics Source Code Library, record ascl:1503.010.

Mucciarelli, A., Pancino, E., Lovisi, L., Ferraro, F. R., Lapenna, E. 2013. GALA: An Automatic Tool for the Abundance Analysis of Stellar Spectra. The Astrophysical Journal, 766 (2), 15.

O'Donnell, J.E. 1994. Rv-dependent optical and Near-Ultraviolet extinction. Astrophysical Journal, 422,158.

Plez, B. 2013. Model atmospheres and fundamental stellar parameters, Proceedings of the annual meeting of the French Society of Astronomy & Astrophysics (SF2A), 4-7 June, 141.

Polińska, M., Niemczura, E., Murphy, S.J., Bruntt, H., Uytterhoeven, K., De Cat, P. 2018. Spectroscopic analysis of A-and F-type stars observed in the Kepler field. XXXVIII Polish Astronomical Society Meeting, 11-14 September. Zielona Góra, Poland, Proceedings of the Polish Astronomical Society, 7.

Pradhan, A.K. ve Nahar, S.N. 2011. Atomic astrophysics and spectroscopy. Cambridge University Press, United States of America by Cambridge University Press, New York.

Ramirez, R.M. ve Kaltenegger, L. 2014. The habitable zones of pre-main-sequence stars. The Astrophysical Journal Letters, 797 (2), L25, 8.

Ramirez, R.M., Kopparapu, R.K., Lindner, V. ve Kasting, J.F. 2014. Can increased atmospheric CO2 levels trigger a runaway greenhouse? Astrobiology, 14 (8),714-731.

Ramirez, R., Abbot, D.S., Fujii, Y., Hamano, K., Kite, E., Levi, A., Lingam, M., Lueftinger, T., Robinson, T.D., Rushby, A., Schaefer, L., Tasker, E., Vladilo, G., Wordsworth, R. D. 2019. Habitable zone predictions and how to test them. Bulletin of the American Astronomical Society, 51 (3) - Astro2020: Decadal Survey on Astronomy and Astrophysics, science white papers, 31.

Raymond, S.N., Scalo, J. ve Meadows, V.S. 2007. A decreased probability of habitable planet formation around low-mass stars. The Astrophysical Journal, 669(1), 606-614.

Ricker, G.R., Winn, J. N., Vanderspek, R., Latham, D.W., Bakos, G.Á., Bean, J.L., Berta-Thompson, Z.K., Brown, T.M., Buchhave, L., Butler, N.R., Butler, R.P., Chaplin, W.J., Charbonneau, D., Christensen-Dalsgaard, J., Clampin, M., Deming, D., Doty, J., De Lee, N., Dressing, C., Dunham, E.W., Endl, M., Fressin, F., Ge, J., Henning, T., Holman, M.J., Howard, A.W., Ida, S., Jenkins, J.M., Jernigan, G., Johnson, J.A., Kaltenegger, L., Kawai, N., Kjeldsen, H., Laughlin, G., Levine, A.M., Lin, D., Lissauer, J.J., MacQueen, P., Marcy, G., McCullough, P.R., Morton, T.D., Narita, N., Paegert, M., Palle, E., Pepe, Francesco, Pepper, J., Quirrenbach, A., Rinehart, S.A., Sasselov, D., Sato, B., Seager, S., Sozzetti, A., Stassun, K. G., Sullivan, P., Szentgyorgyi, A., Torres, G., Udry, S., Villasenor, J. 2015. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 1 (014003).

Rieke, G.H., Schlawin, E., Proffitt, C.R., Willmer, C. 2024. Absolute Calibration. IV. use of G-type stars as primary calibrators. The Astronomical Journal, 167 (5), 17.

Rybicki, G.B., Hummer, D.G. 1991. An accelerated lambda iteration method for multilevel radiative transfer. I. Non-overlapping lines with background continuum. Astronomy and Astrophysics, 245, 171-181.

Robert, F. ve Chaussidon, M. 2006. A palaeotemperature curve for the Precambrian oceans based on silicon isotopes in cherts. Nature, 443, 969-972.

Rushby, A.J., Claire, M.W., Osborn, H. ve Watson A.J. 2013. Habitable zone lifetimes of exoplanets around main sequence stars. Astrobiology, 13 (9), 833-849.

Rutten, R.J. 2003, Radiative transfer in stellar atmospheres. Sterrekundig Instituut Utrecht Institute of Theoretical Astrophysics, 255, Oslo.

Santos, N.C., Israelian, G., Mayor, M. 2004. Spectroscopic [Fe/H] for 98 extra-solar planet-host stars. Exploring the probability of planet formation. Astronomy & Astrophysics. 415. 1153-1166.

Santos, N.C., Sousa, S.G., Mortier, A., Neves, V., Adibekyan, V., Tsantaki, M., Delgado Mena, E., Bonfils, X., Israelian, G., Mayor, M., Udry, S. 2013. SWEET-Cat: A catalogue of parameters for Stars With ExoplanETs. I. New atmospheric parameters and masses for 48 stars with planets. Astronomy & Astrophysics, 556, A150, 11.

Sarmento, P., Rojas-Ayala, B., Delgado Mena, E., Blanco-Cuaresma, S. 2021. Determination of spectroscopic parameters for 313 M dwarf stars from their APOGEE data release 16 H-band spectra. Astronomy & Astrophysics, 649, A147, 29.

Schlafly, E.F. ve Finkbeiner, D.P. 2011. Measuring reddening with Sloan Digital Sky Survey stellar spectra and recalibrating SFD. The Astrophysical Journal,737 (2), 13.

Schlegel, D.J., Finkbeiner, D.P. ve Davis, M. 1998. Maps of dust infrared emission for use in estimation of reddening and cosmic microwave background radiation foregrounds. The Astrophysical Journal, Volume, 500 (2), 525-553.

Schweitzer, A., Passegger, V.M., Cifuentes, C., Béjar, V.J.S., Cortés-Contreras, M., Caballero, J.A., Burgo, C.del, Czesla, S., Kürster, M., Montes, D., Zapatero Osorio, M.R., Ribas, I.Reiners, A., Quirrenbach, A., Amado, P.J., Aceituno, J., Anglada-Escudé, G., Bauer, F.F., Dreizler, S., Jeffers, S.V, Guenther, E.W., Henning, T., Kaminski, A., Lafarga, M., Marfil, E., Moreles, J.C., Schmitt, J.H.M.M., Seifert, W., Solano, E., Tabernero, H.M.ve Zechmeister M. 2019. The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs-Different roads to radii and masses of the target stars. Astronomy & Astrophysics, 625, A68, 16.

Seager, S., Kuchner, M., Hier-Majumder, C.A., Militzer, B. 2007. Mass-radius relationships for solid exoplanets. The Astrophysical Journal, 669(2),1279-1297.

Selsis, F., Kasting, J.F., Levrard, B.. Paillet, J., Ribas, I. ve Delfosse, X. 2007. Habitable planets around the star Gliese 581?. Astronomy and Astrophysics, 476(3), 1373-1387.

Shields, A.L., Barnes, R., Agol, E., Charnay, B., Bitz, C., ve Meadows, V.S. 2016. The effect of orbital configuration on the possible climates and habitability of Kepler-62f. Astrobiology, 16(6), 443-464.

Skrutskie, M. F., Cutri, R.M., Stiening, R., Weinberg, M.D., Schneider, S., Carpenter, J.M., Beichman, C., Capps, R., Chester, T., Elias, J., Huchra, J., Liebert, J.,

Lonsdale, C., Monet, D.G., Price, S., Seitzer, P., Jarrett, T., Kirkpatrick, J.D., Gizis, J.E., Howard, E., Evans, T., Fowler, J., Fullmer, L., Hurt, R., Light, R., Kopan, E.L., Marsh, K.A., McCallon, H.L., Tam, R., Van Dyk, S. ve Wheelock, S. 2006. The Two Micron All Sky Survey (2MASS). The Astronomical Journal, 131 (2), 1163-1183.

Solomon, S.C. ve Head, J.W. 1991. Fundamental issues in the geology and geophysics of Venus. Science, 252 (5003), 252-260.

Soubiran, C., Creevey, O.L., Lagarde, N., Brouillet, N., Jofré, P., Casamiquela, L., Heiter, U., Aguilera-Gómez, C., Vitali, S., Worley, C., de Brito Silva, D. 2024. Gaia FGK benchmark stars: Fundamental Teff and log g of the third version. Astronomy & Astrophysics, 682, 23.

Sousa, S.G., Santos, N.C., Israelian, G., Mayor, M., Monteiro, M.J.P.F.G. 2007. A new code for automatic determination of equivalent widths: Automatic Routine for line Equivalent widths in stellar Spectra (ARES). Astronomy & Astrophysics, 469 (2), 783-791

Sousa, S.G. 2014. Determination of atmospheric parameters of B-, A-, F-and G-type stars. Springer International Publishing (Cham), 297-310, London.

Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., Watson, F.G.,Freeman, K.C., Munari, U., Campbell, R., Williams, M., Seabroke, G.M., Wyse, R.F.G., Parker, Q.A., Bienaymé, O., Roeser, S., Gibson, B.K., Gilmore, G., Grebel, E.K., Helmi, A., Navarro, J.F., Burton, D., Cass, C.J.P., Dawe, J.A., Fiegert, K., Hartley, M., Russell, K.S., Saunders, W., Enke, H., Bailin, J., Binney, J., Bland-Hawthorn, J., Boeche, C., Dehnen, W., Eisenstein, D.J., Evans, N.W., Fiorucci, M., Fulbright, J.P., Gerhard, O., Jauregi, U., Kelz, A., Mijović, L., Minchev, I., Parmentier, G., Peñarrubia, J., Quillen, A.C., Read, M.A., Ruchti, G., Scholz, R.-D., Siviero, A., Smith, M.C., Sordo, R., Veltz, L., Vidrih, S., von Berlepsch, R., Boyle, B.J., Schilbach, E. 2006. The Radial Velocity Experiment (RAVE): first data release. The Astronomical Journal, 132 (4), 1645-1668.

Stokholm, A., Nissen, P.E., Silva A.V., White, T.R., Lund, M.N., Mosumgaard, J.R., Huber, D., Jessen-Hansen, J. 2019. The subgiant HR 7322 as an asteroseismic benchmark star. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 489 (1), 928-940.

Tabernero, H.M., Montes, D. ve González Hernández, J.I. 2012. Chemically tagging the Hyades Supercluster. A homogeneous sample of F6-K4 kinematically selected northern stars. Astronomy & Astrophysics, Volume 547, A13, 15.

Tabernero, H.M., Marfil, E., Montes, D. ve González Hernández, J.I. 2019. STEPAR: an automatic code to infer stellar atmospheric parameters. Astronomy & Astrophysics, 628, A131, 12.

Takeda, Y., Sato, B., Kambe, E., Sadakane, K. ve Ohkubo, M. 2002, Spectroscopic determination of stellar atmospheric parameters: application to mid-F through early-K dwarfs and subgiants. Publications of the Astronomical Society of Japan, 54 (6), 1041-1056.

Takeda, Y. ve Honda, S. 2020. Spectroscopic determination of stellar parameters and Oxygen abundances for Hyades / field G-K dwarfs. The Astronomical Journal, 159(4), 174.

Takeda, Y. 2022. Mass evaluation for red giant stars based on the spectroscopically determined atmospheric parameters. Astrophysics and Space Science, 367 (6).

Tatum, J. 2024. Stellar Atmospheres. The LibreTexts Libraries, Online Text Book, 222 pp. Web Sitesi: https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Astronomy__Cosmolog. Erişim Tarihi: 31.10.2024.

Tetzlaff, N., Neuhäuser, R. ve Hohle, M.M. 2011. A catalogue of young runaway Hipparcos stars within 3 kpc from the Sun. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 410 (1), 190-200.

Tian, F. ve Ida, S. 2015. Water contents of Earth-mass planets around M dwarfs. Nature Geoscience, 8 (3), 177-180.

Tilley, M.A., Segura, A., Meadows, V., Hawley, S. ve Davenport, J. 2017. Modeling Repeated M-dwarf Flaring at an Earth-like Planet in the Habitable Zone: I. Atmospheric Effects for an Unmagnetized Planet. Astrobiology,19(1).

Tody, D. 1986. The IRAF data reduction and analysis system. IN: Instrumentation in astronomy VI; Proceedings of the Meeting, Tucson, United States, March 4-8, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1986, 733.

Tody, D. 1993. IRAF in the Nineties. Astronomical data analysis software and systems II, A.S.P. Conference Series, Vol. 52. R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden, and Jeannette B., eds.,173

Trypsteen, M.F.M. ve Walker, R. 2017. Spectroscopy for Amateur Astronomers-Analysis of the Spectra. Cambridge University Press, 76-84, Cambridge.

Tsantaki, M., Santos, N.C., Sousa, S.G., Delgado-Mena, E., Adibekyan, V., Andreasen, D. T. 2019. On the iron ionization balance of cool stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 485 (2), 2778-2782.

Underwood, D.R., Jones, B.W. ve Sleep, P.N. 2003. The evolution of habitable zones during stellar lifetimes and its implications on the search for extraterrestrial life. International Journal of Astrobiology, 2 (4), 289-299.

van Belle, G. T., Lane, B.F., Thompson, R. R., Boden, A. F., Colavita, M. M., Dumont, P. J., Mobley, D. W., Palmer, D., Shao, M., Vasisht, G. X., Wallace, J. K., Creech-Eakman, M. J., Koresko, C. D., Kulkarni, S. R., Pan, X. P. ve Gubler, J. 1999. Radii and effective temperatures for G, K, and M giants and supergiants. The Astronomical Journal, 117 (1), 521-533.

van Leeuwen, F. 2007. Hipparcos, the new reduction of the raw data. Astrophysics and Space Science Library, 350, Springer, Hollanda.

Valenti, J.A. ve Fischer, D.A. 2005. Spectroscopic properties of cool stars (spocs). I. 1040 F, G, and K dwarfs from KECK, LICK, and AAT planet search programs. The Astrophysical Journal Supplement Series, 159 (1), 141-166.

Vines, J. ve Jenkins, J. 2022. ARIADNE: measuring accurate and precise stellar parameters through SED fitting. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 513 (2), 2719-2731.

von Braun, K.,.Boyajian, T.S., van Belle, G.T., Kane, S.R., Jones, J., Farrington, C., Schaefer, G., Vargas, N., Scott, N., ten Brummelaar, T.A., Kephart, M., Gies, D.R., Ciardi, D.R., López-Morales, M., Mazingue, C., McAlister, H.A., Ridgway, S., Goldfinger, P.J., Turner, N.H., Sturmann, L. 2014. Stellar diameters and temperatures-V. 11 newly characterized exoplanet host stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 438 (3), 2413-2425.

Wenger, M., Ochsenbein, F., Egret, D., Dubois, P., Bonnarel, F., Borde, S., Genova, F., Jasniewicz, G., Laloë, S., Lesteven, S., Monier, R. 2000. The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects. Astronomy and Astrophysics Supplement, 143, 9-22.

Weiss, L.M. ve Marcy, G.W. 2014. The mass–radius relation for 65 exoplanets smaller than 4 Earth radii. The Astrophysical Journal Letters, 783 (1),7.

West, A.A., Hawley, S.L., Bochanski, J.J., Covey, K.R., Reid, I.N., Dhital, S., Hilton, E.J. ve Masuda, M. 2008. Constraining the age-activity relation for cool stars: the sloan digital sky survey data release 5 low-mass star spectroscopic sample. The Astronomical Journal, 135(3), 785.

West, A.A. ve Basri, G. 2009. A first look at rotation in inactive late-type M dwarfs. The Astrophysical Journal, 693(2), 1283

Wheatley, D.F., Chan, M.A. ve Okubo, C.H. 2019. Clastic pipes and mud volcanism across Mars: Terrestrial analog evidence of past Martian groundwater and subsurface fluid mobilization. Icarus, 328, 141-151.

White, R.J., Gabor, J.M. ve Hillenbrand, L. A. 2007. High dispersion optical spectra of nearby stars younger than the sun. The Astronomical Journal, 133(6), 2524.

Windsor, J.D., Robinson, T.D., Kopparapu, R.K., Salvador, A., Young, A.V., Meadows, V.S. 2024. eprint arXiv:2401.12204.

Winn, J.N. ve Fabrycky, D.C. 2015. The occurrence and architecture of exoplanetary systems. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 53, 409-447.

Wolf, E.T., Shields, A.L., Kopparapu, R.K., Haqq-Misra, J. ve Toon, O.B. 2017. Constraints on climate and habitability for Earth-like exoplanets determined from a general circulation model. The Astrophysical Journal, 837(2), 11.

Wright, E.L., Eisenhardt, P.R.M., Mainzer, A.K., Ressler, M.E., Cutri, R.M., Jarrett, T., Kirkpatrick, J. D., Padgett, D., McMillan, R.S., Skrutskie, M., Stanford, S.A., Cohen, M., Walker, R.G., Mather, J.C., Leisawitz, D., Gautier, T.N.III, ; McLean, I., Benford, D., Lonsdale, C.J., Blain, A., Mendez, B., Irace, W.R., Duval, V., Liu, F., Royer, D., Heinrichsen, I., Howard, J., Shannon, M., Kendall, M., Walsh, A.L., Larsen, M., Cardon, J.G., Schick, S., Schwalm, M., Abid, M., Fabinsky, B., Naes, L., Tsai, C.-W. 2010. The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission description and initial on-orbit performance. The Astronomical Journal, 140 (6), 1868-1881.

Yang, J., Cowan, N.B. ve Abbot, D.S. 2013a. Stabilizing Cloud Feedback Dramatically Expands the Habitable Zone of Tidally Locked Planets. The Astrophysical Journal Letters, 771(2), 6.

Zhao, G., Chen, Y.-Q., Shi, J.-R., Liang, Y.-C., Hou, J.-L., Chen, L., Zhang, H., Li, A.-G. 2006. Stellar abundance and galactic chemical evolution through LAMOST spectroscopic survey. Chinese Journal of Astronomy & Astrophysics, 6 (3), 265-280.

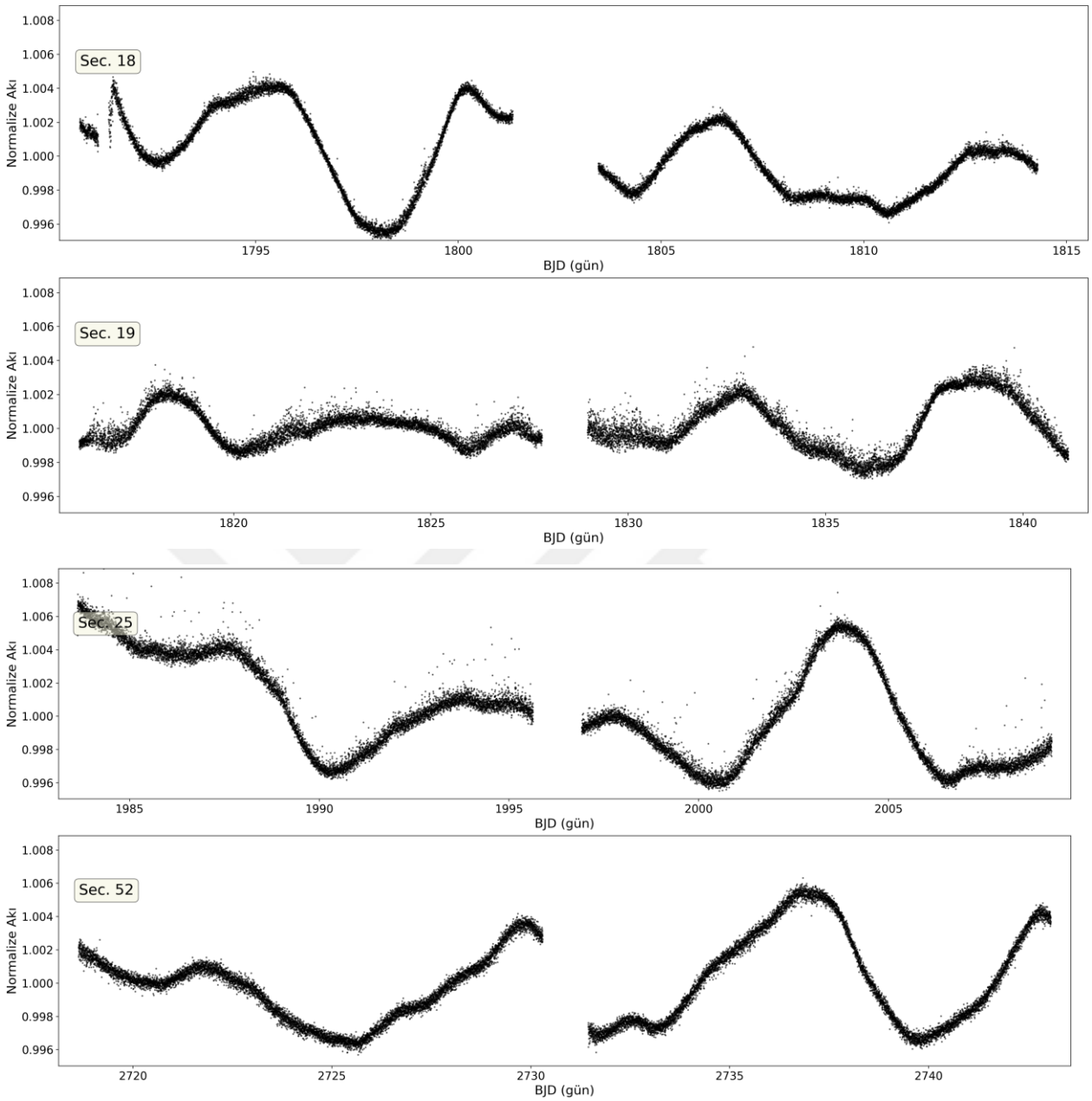
Zsom, A., Seager, S., de Wit, J. ve Stamenković, V. 2013. Toward the minimum inner edge distance of the habitable zone. Astrophys. J., 778(2); 109.

EKLER

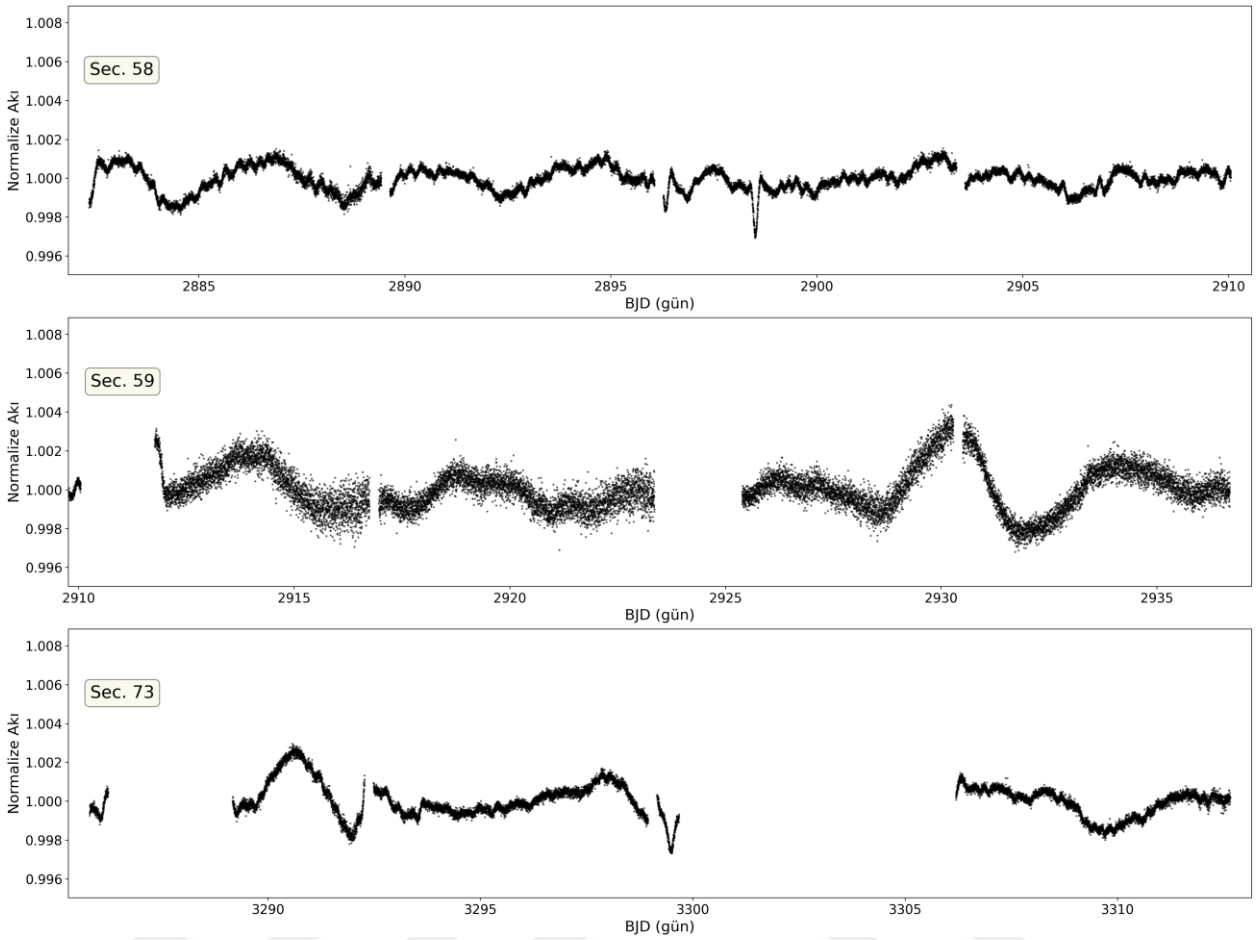
EK 1 Aday Yıldızlara Ait Tess Işık Eğrileri

EK 2 Aday Yıldızların Eşdeğer Genişlik Ölçümleri

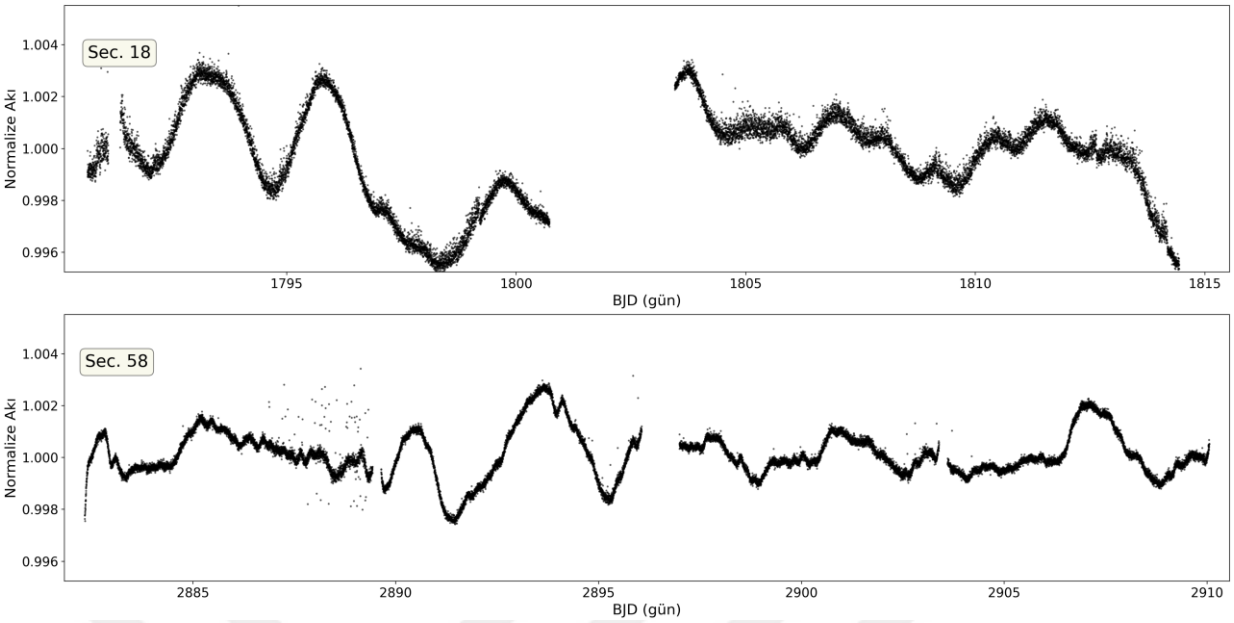
EK 1 ADAY YILDIZLARIN TESS IŞIK EĞRİLERİ



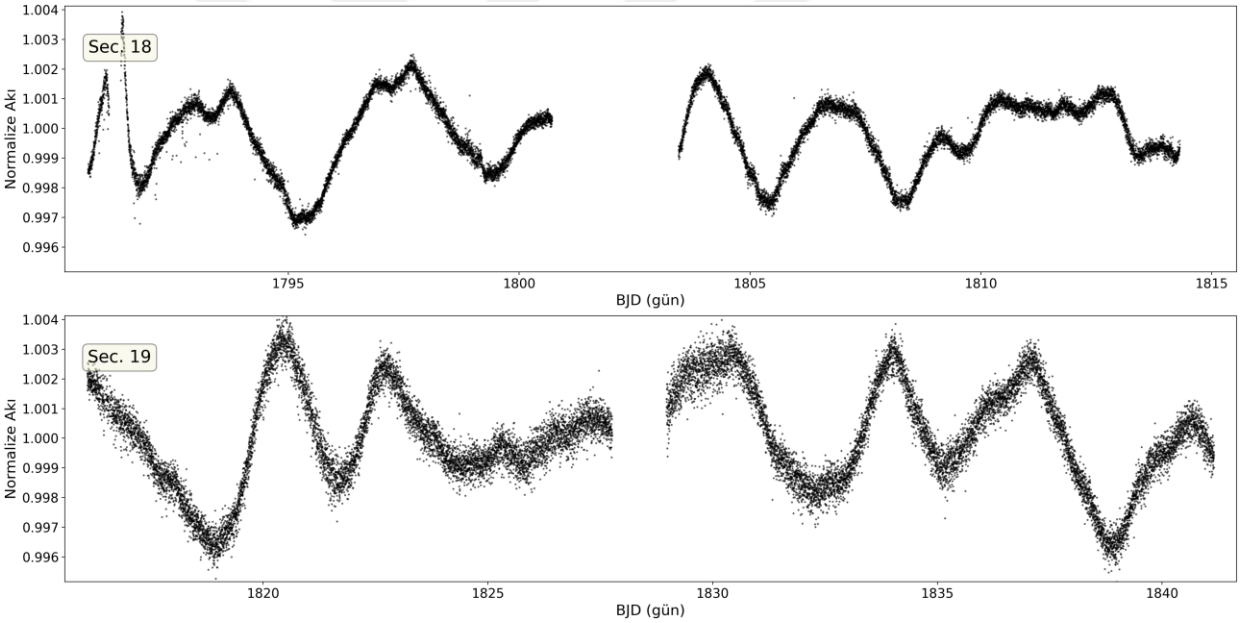
HD 11844 yıldızının 18, 19, 25 ve 52 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



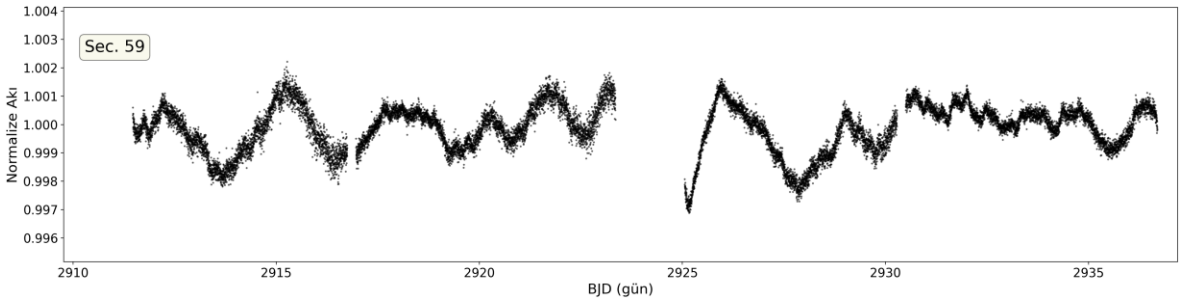
HD 11844 yıldızının 58, 59 ve 73 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



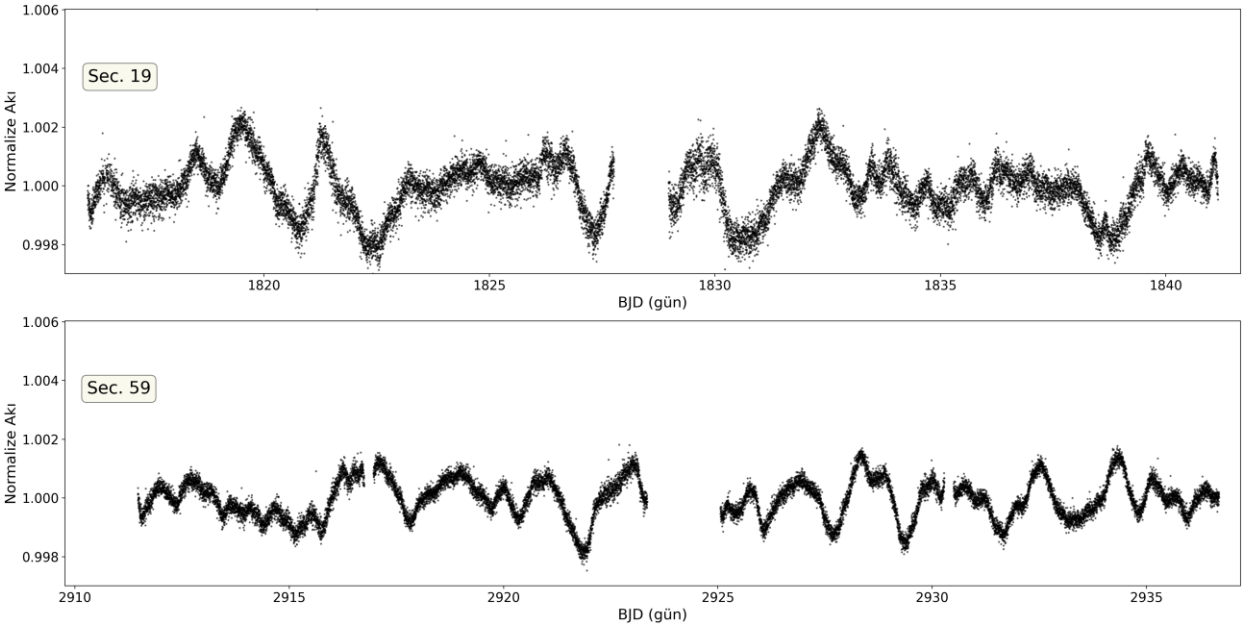
HD 16028 yıldızının 18. ve 58. sektörleri ile alınan ışık eğrileri



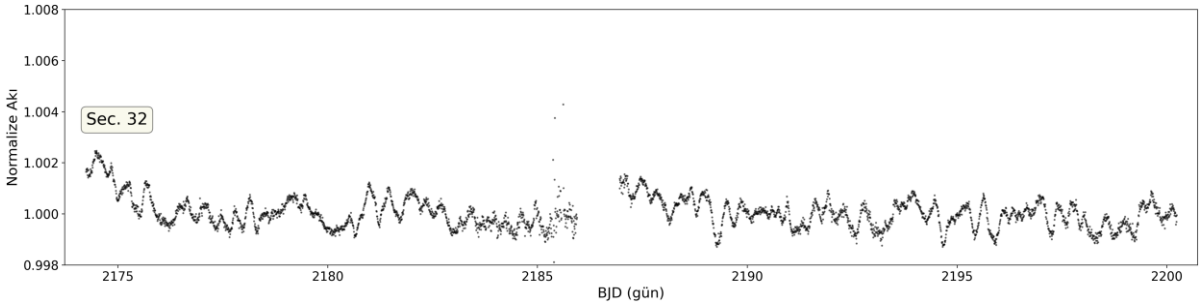
HD 23049 yıldızının 18. ve 19. sektörleri ile alınan ışık eğrileri



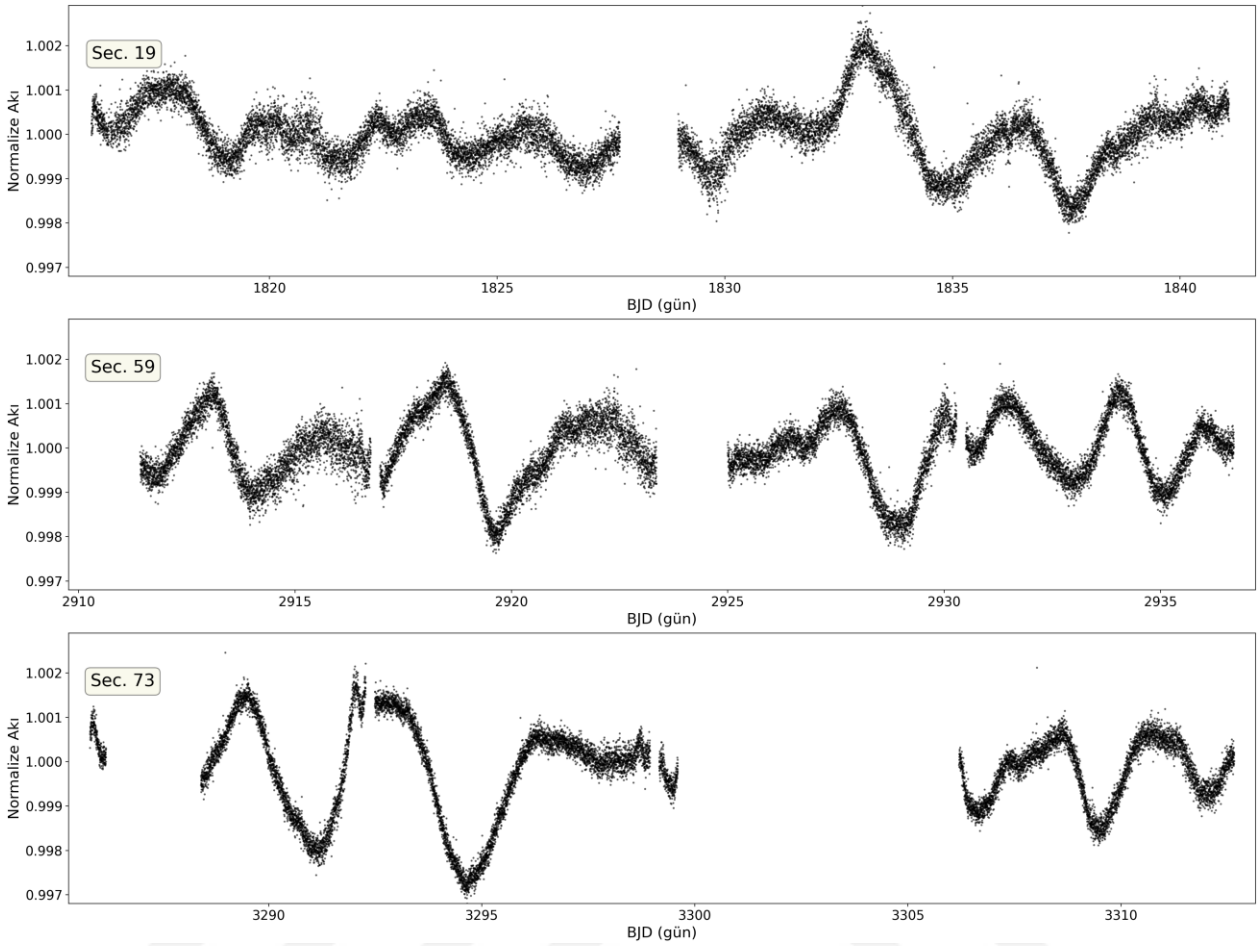
HD 23049 yıldızının 59. sektörü ile alınan ışık eğrisi



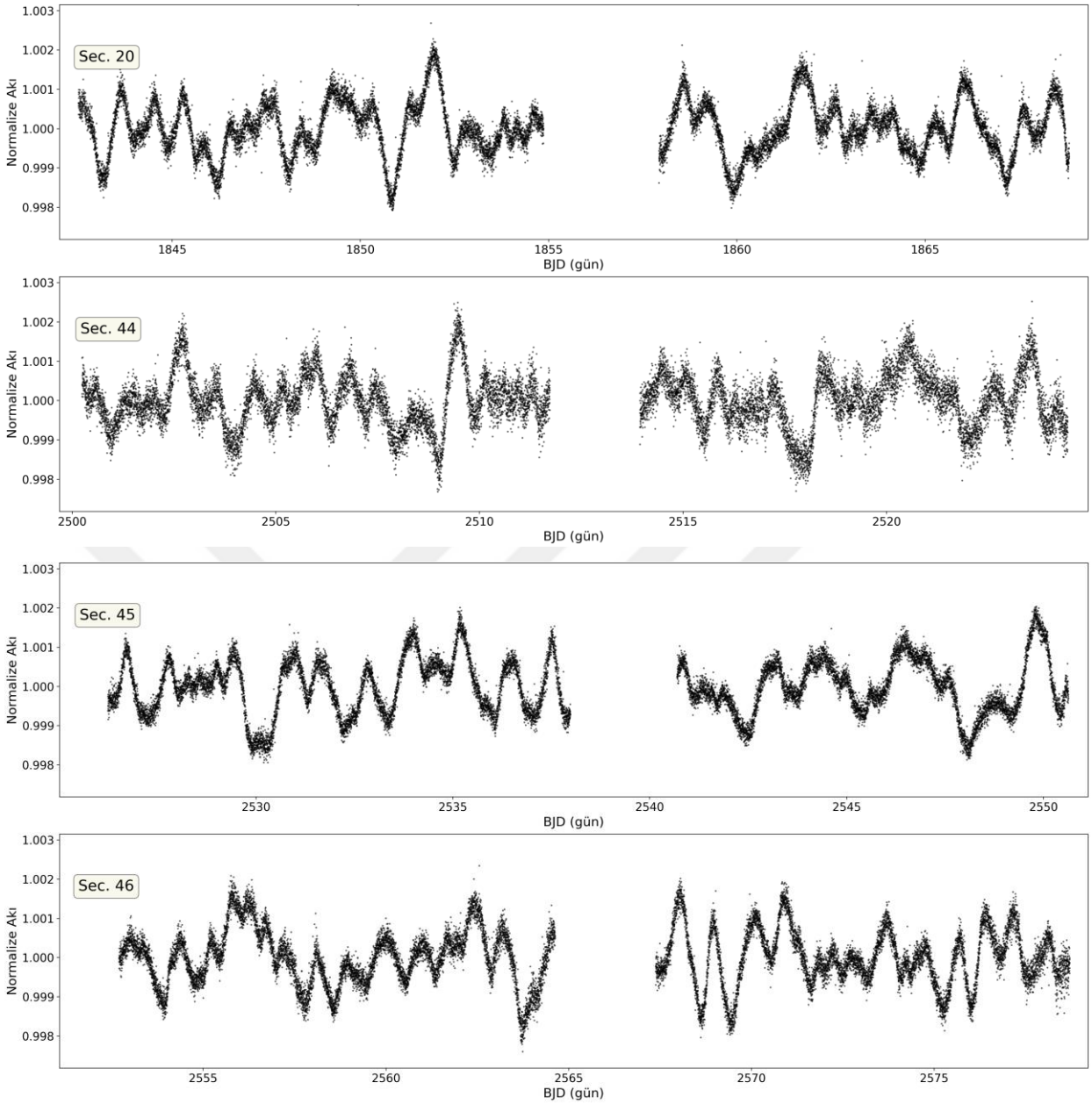
HD 25350 yıldızının 19 ve 59 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



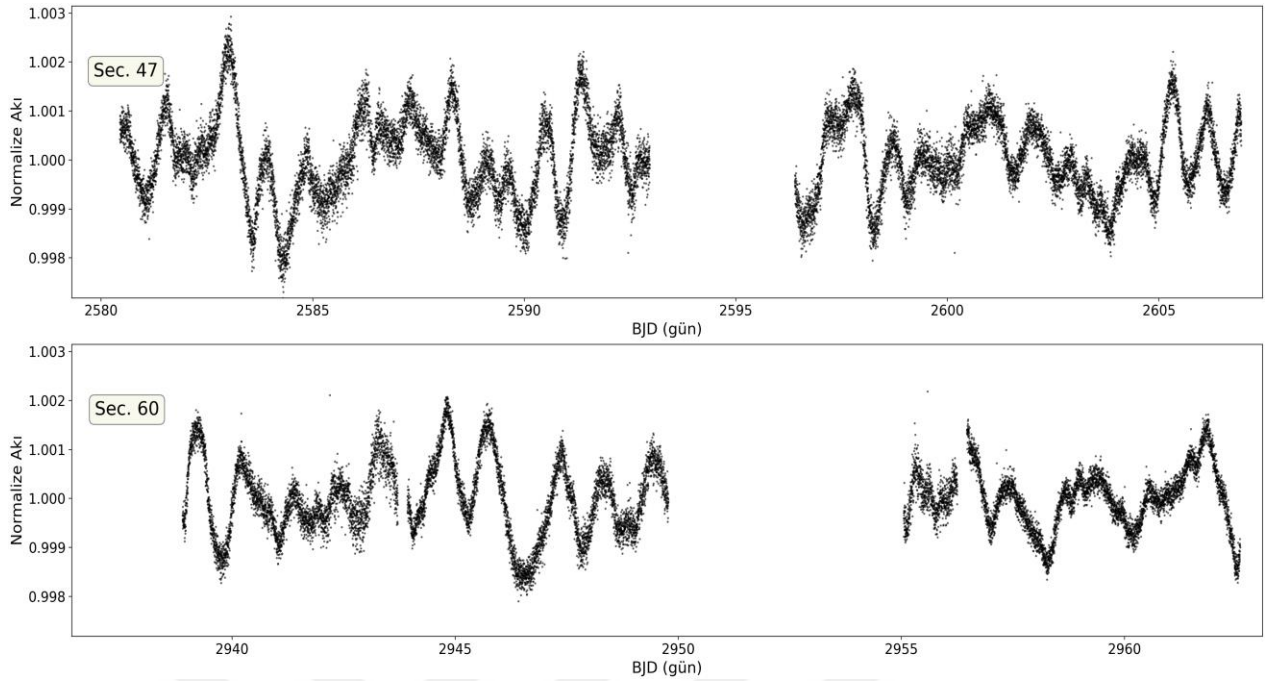
HD 28171 yıldızının 32. sektörü ile alınan ışık eğrisi



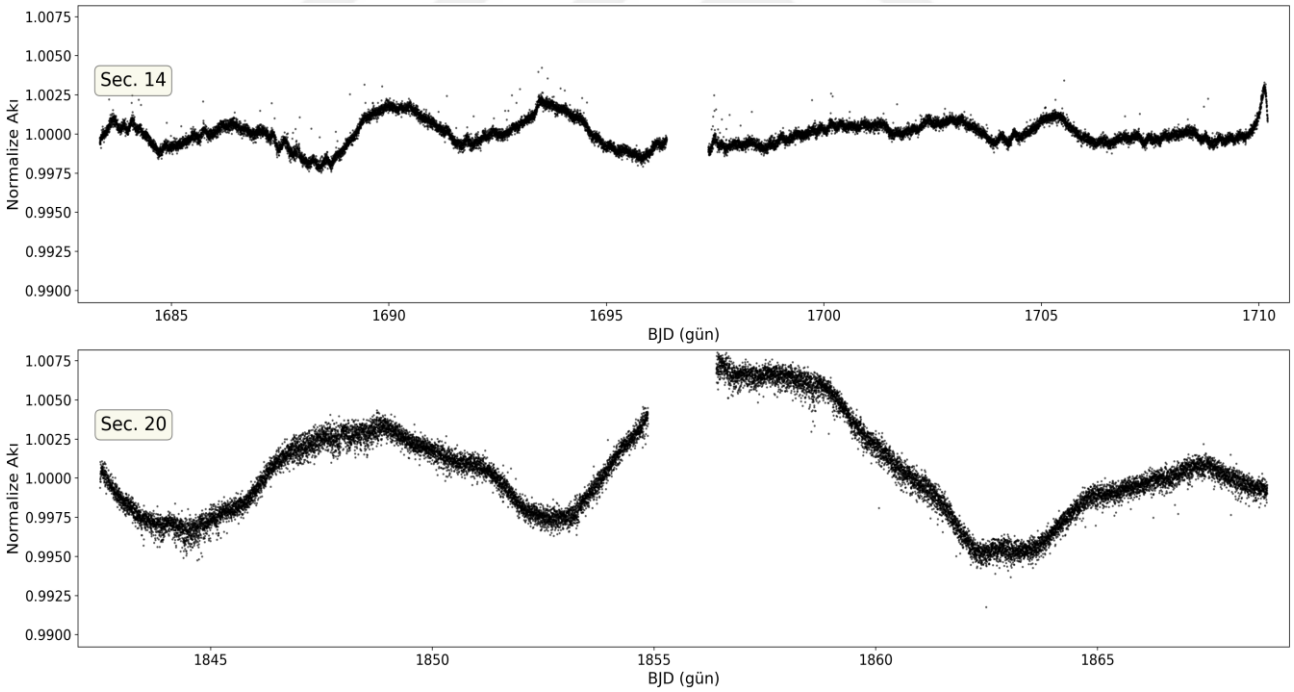
HD 34190 yıldızının 19, 59 ve 73 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



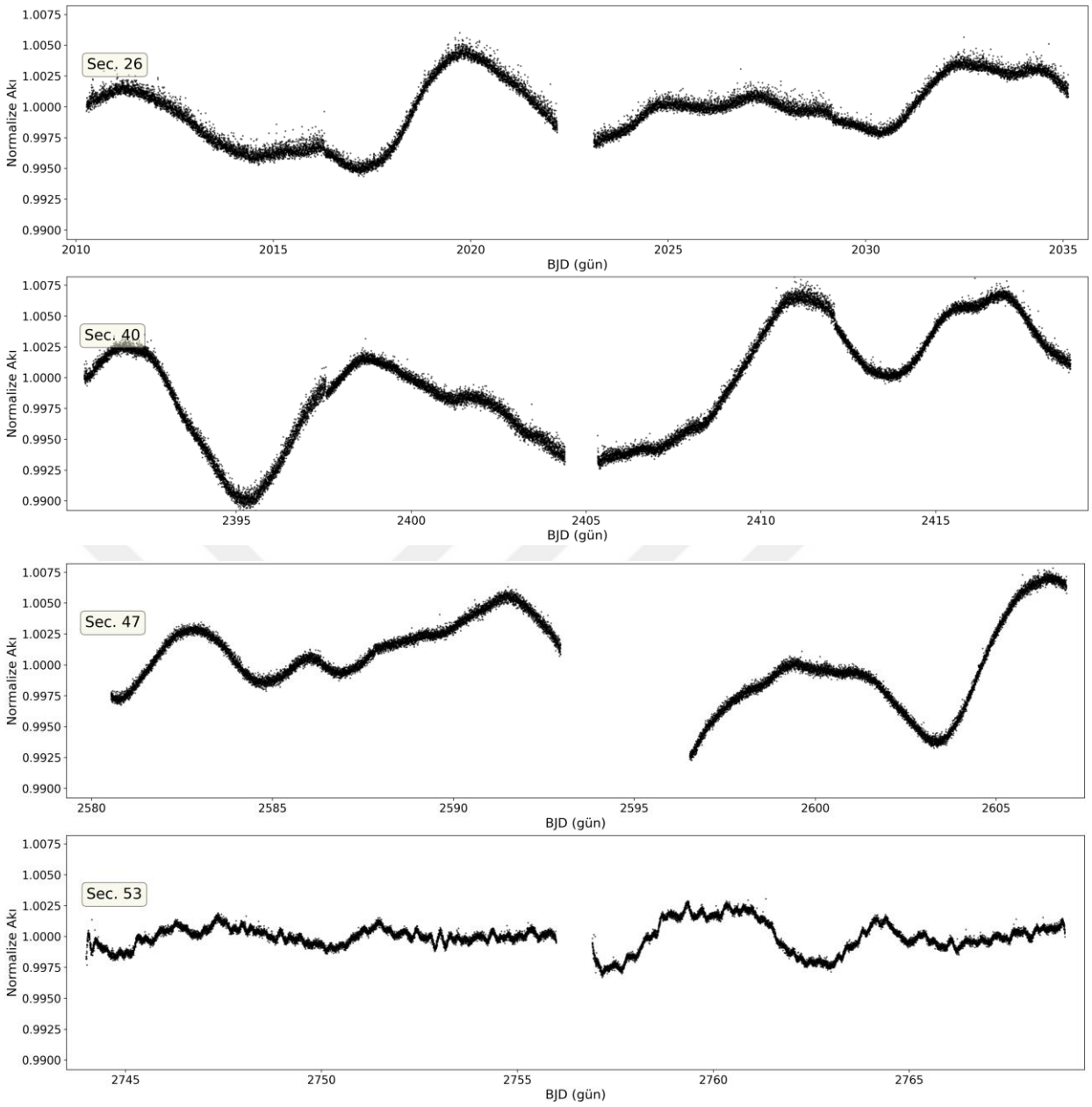
HD 60935 yıldızının 20, 44, 45 ve 46 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



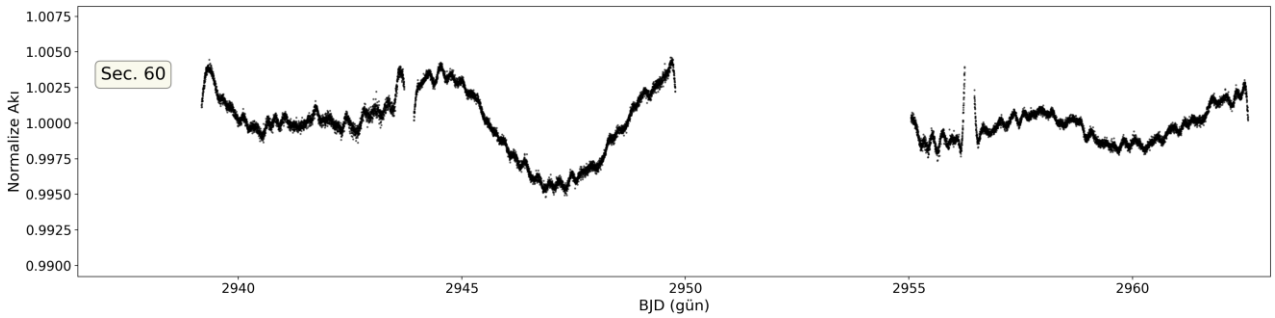
HD 60935 yıldızının 47 ve 60 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



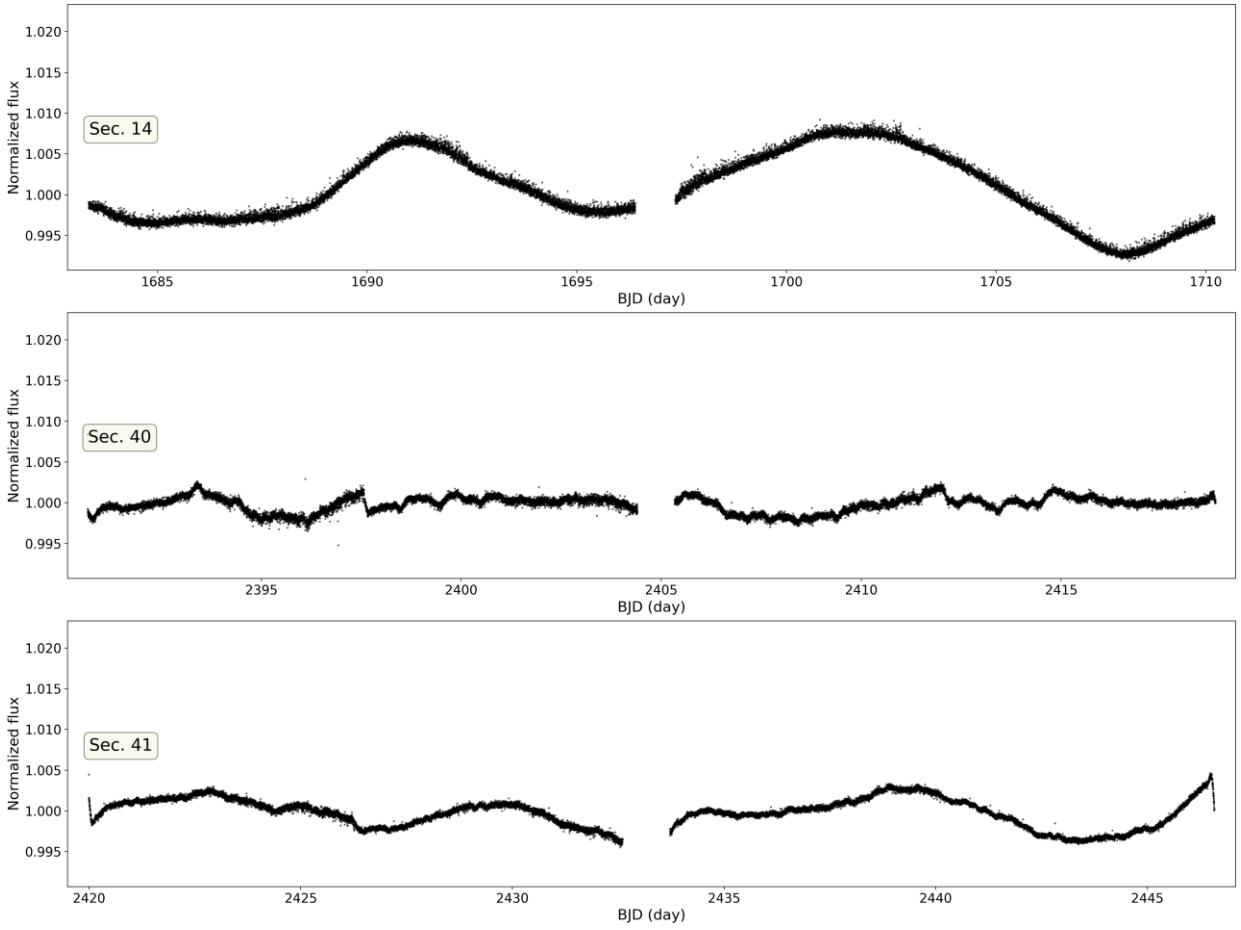
HD 74653 yıldızının 14 ve 20 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



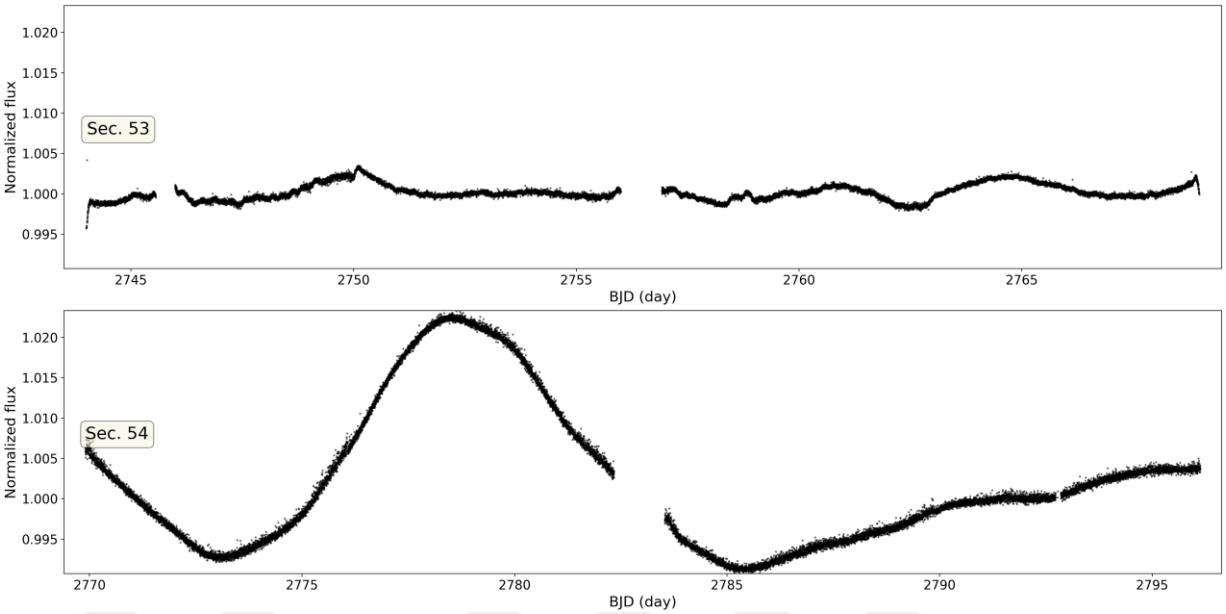
HD 74653 yıldızının 26, 40, 47 ve 53 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



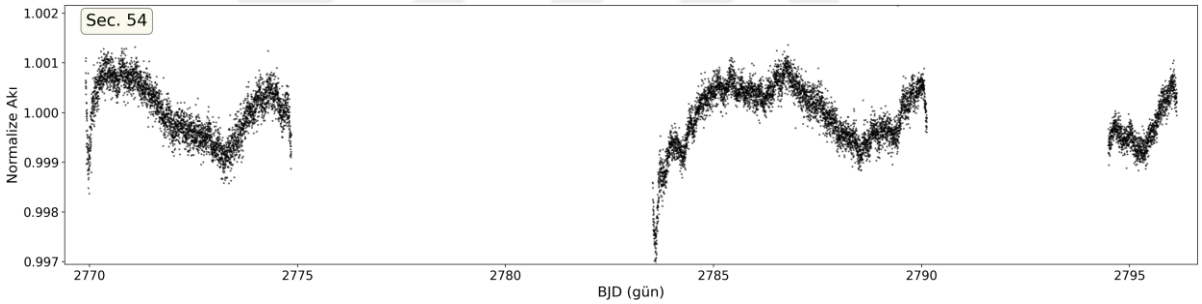
HD 74653 yıldızının 60. sektör ile alınan ışık eğrisi



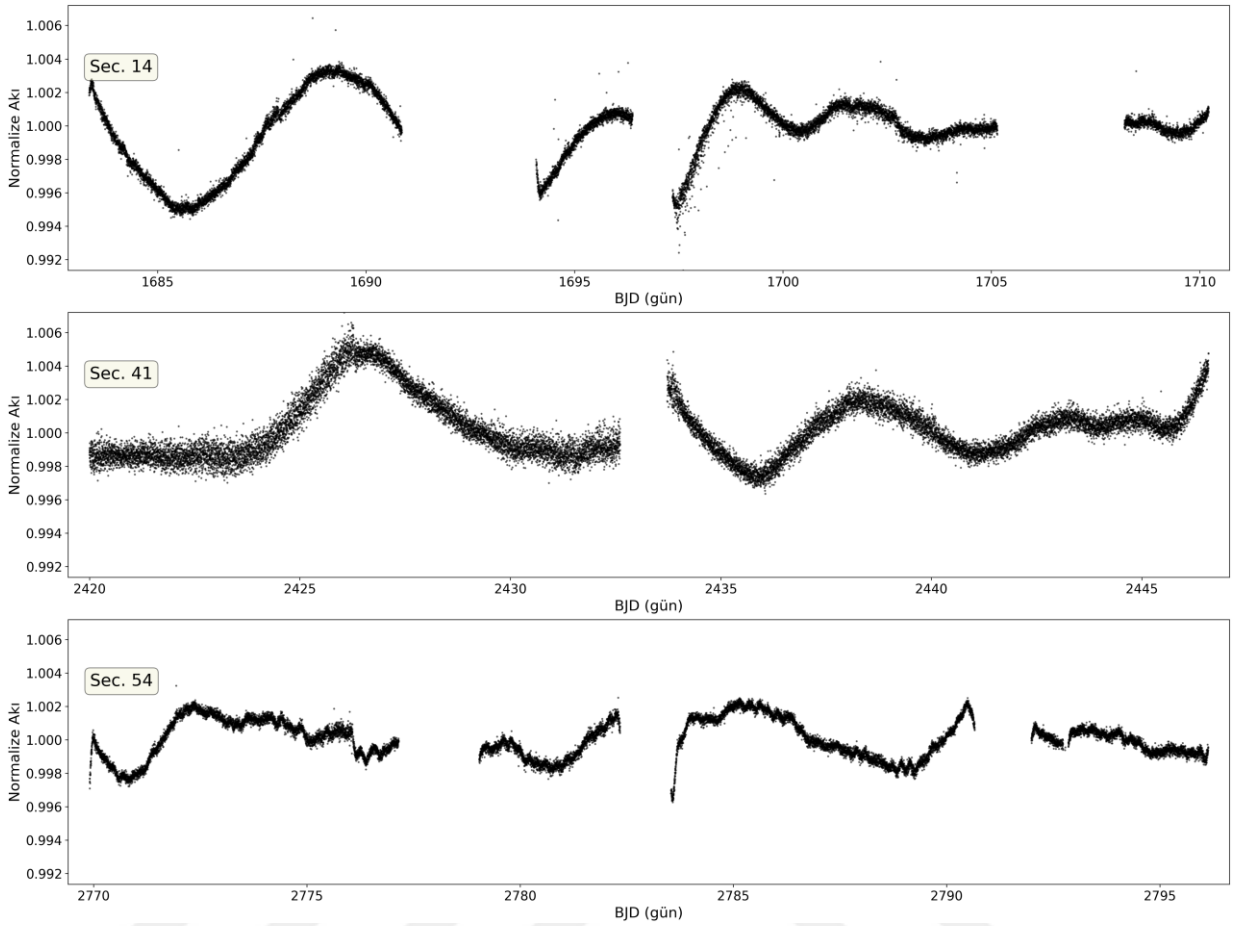
HD 177697 yıldızının 14, 40 ve 41 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



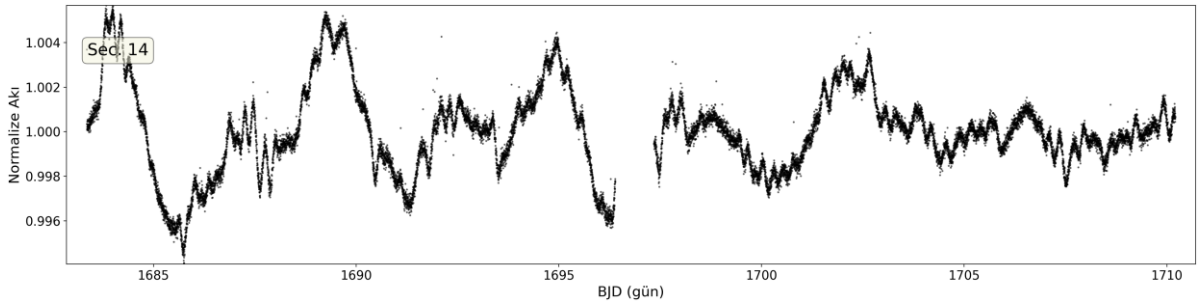
HD 177697 yıldızının 53 ve 54 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



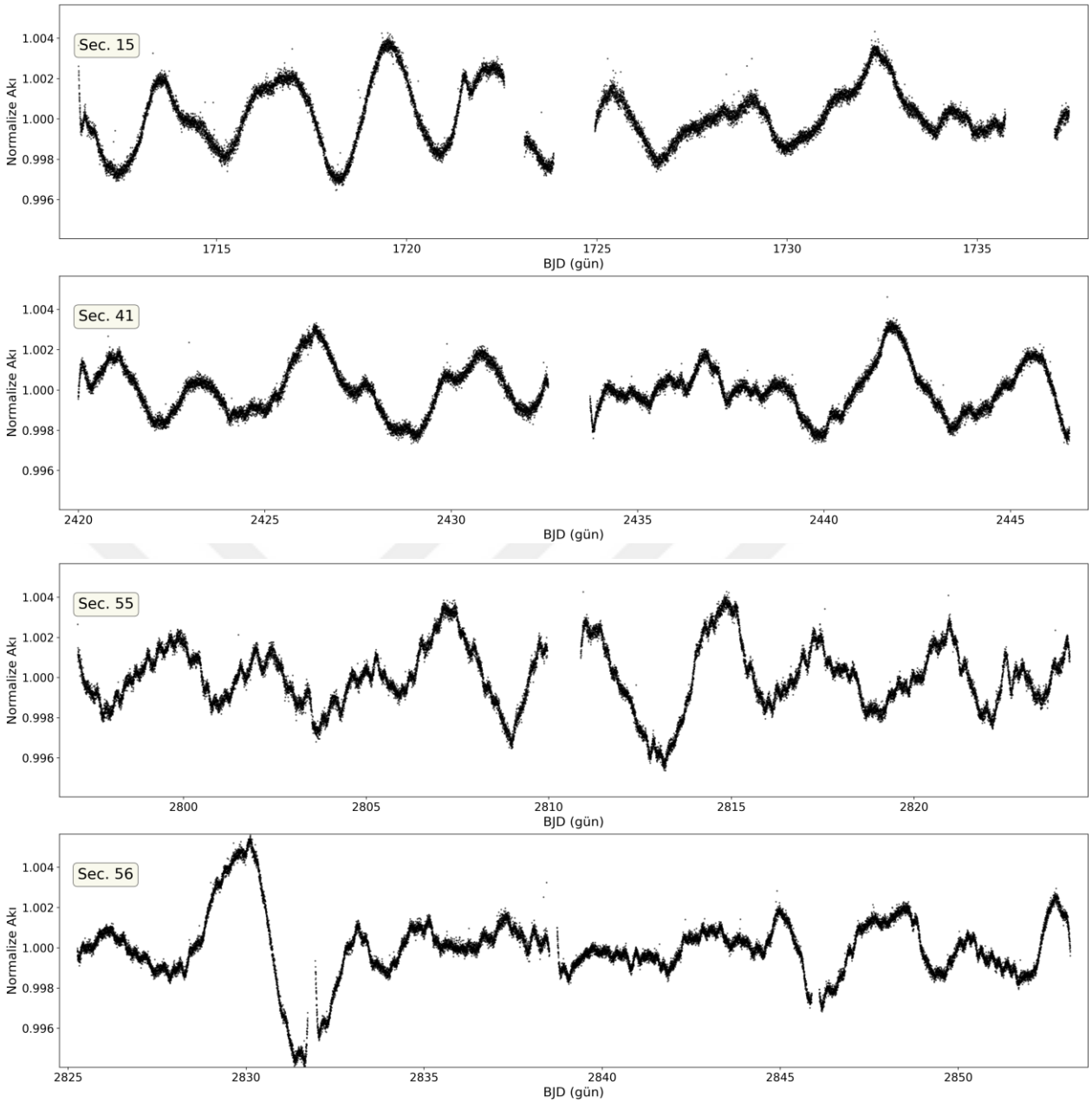
HD 187734 yıldızının 54. sektör ile alınan ışık eğrisi



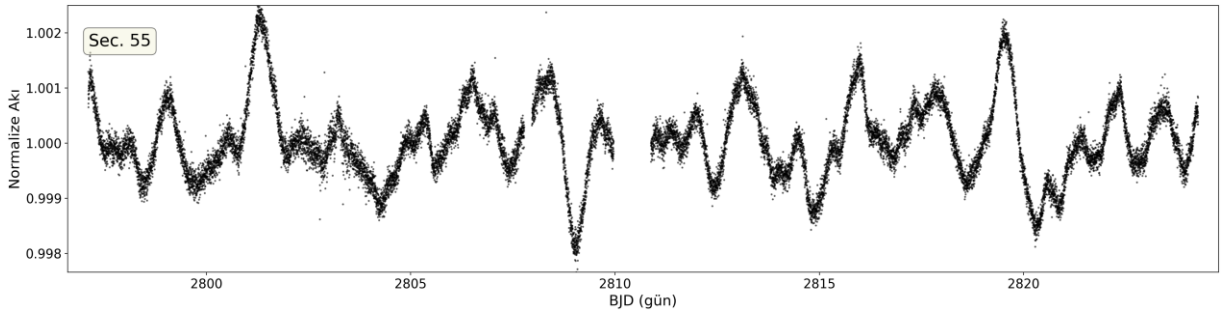
HD 188484 yıldızının 14, 41 ve 54 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



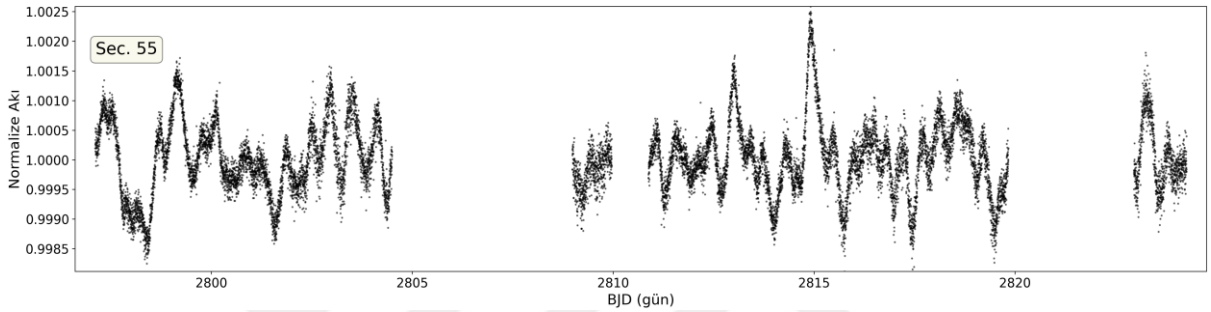
HD 193090 yıldızının 14. sektör ile alınan ışık eğrileri



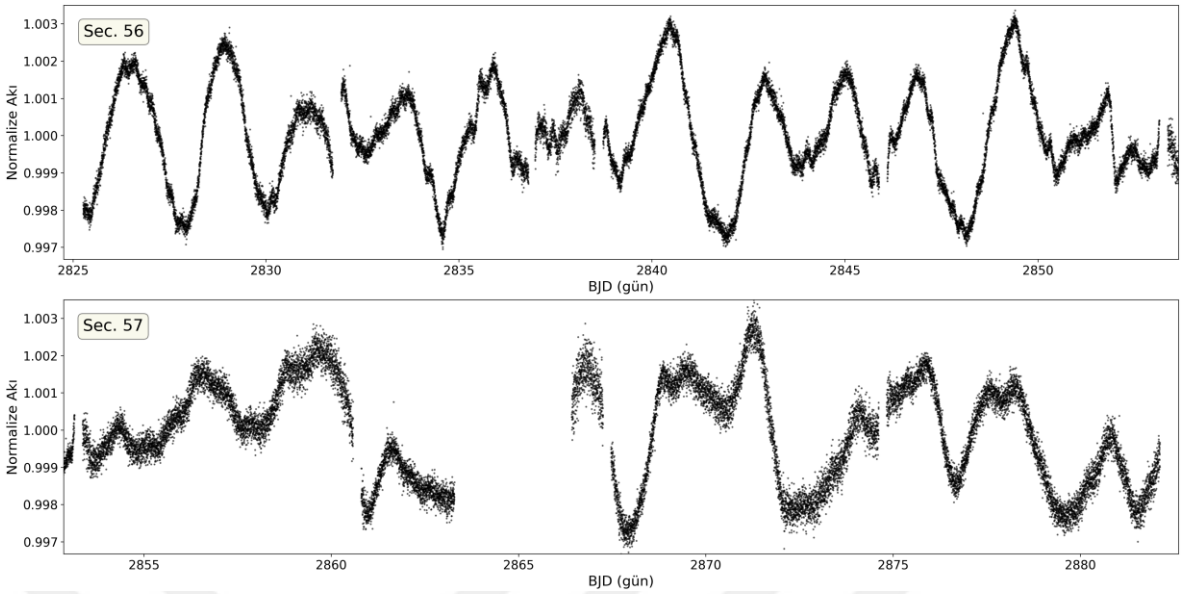
HD 193090 yıldızının 15, 41, 55 ve 56 sektörleri ile alınan ışık eğrileri



HD 196345 yıldızının 55. sektör ile alınan ışık eğrisi



HD 204603 yıldızının 55. sektör ile alınan ışık eğrisi



HD 215705 yıldızının 56 ve 57 sektörleri ile alınan ışık eğrileri

EK 2 Aday Yıldızların Ew Ölçümleri

HD 11844 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4788.76	127.172	0.103	13.428	FeI	5741.85	66.573	0.117	18.650
FeI	4799.41	120.686	0.144	11.433	FeI	5752.04	72.013	0.118	19.328
FeI	4802.88	78.033	0.099	20.191	FeI	5775.08	86.229	0.126	16.780
FeI	4809.94	66.247	0.108	17.709	FeI	5778.46	101.919	0.132	15.733
FeI	4905.14	137.376	0.136	16.677	FeI	5793.92	75.710	0.137	17.967
FeI	5074.76	127.815	0.133	16.218	FeI	5806.73	77.226	0.116	16.608
FeI	5187.91	143.868	0.146	12.131	FeI	5809.22	112.758	0.123	17.705
FeI	5223.19	102.879	0.129	11.674	FeI	5811.92	35.283	0.112	18.327
FeI	5242.50	113.378	0.129	16.347	FeI	5814.81	84.138	0.125	16.540
FeI	5293.96	78.321	0.116	18.921	FeI	5815.22	66.226	0.142	14.965
FeI	5294.55	67.788	0.135	18.774	FeI	5853.15	75.904	0.097	15.911
FeI	5295.32	52.509	0.101	16.799	FeI	5855.08	43.861	0.116	19.431
FeI	5373.71	119.831	0.140	16.297	FeI	5862.36	110.442	0.141	14.465
FeI	5379.58	102.120	0.113	19.622	FeI	5905.68	95.199	0.139	14.241
FeI	5386.34	70.583	0.114	15.343	FeI	5916.26	127.837	0.118	11.965
FeI	5389.48	122.437	0.125	9.733	FeI	5927.79	72.935	0.115	17.648
FeI	5398.28	105.971	0.145	14.179	FeI	5929.68	79.588	0.119	15.024
FeI	5441.34	74.479	0.124	20.007	FeI	5930.19	107.344	0.122	13.526
FeI	5461.55	92.142	0.130	17.533	FeI	5983.69	96.692	0.137	13.502
FeI	5466.99	118.108	0.132	14.419	FeI	5987.07	104.056	0.140	16.043
FeI	5491.83	58.114	0.144	20.698	FeI	6005.55	94.837	0.115	15.709
FeI	5522.45	82.902	0.129	17.485	FeI	6024.06	132.293	0.129	14.287
FeI	5538.52	93.230	0.127	15.503	FeI	6027.06	101.080	0.120	16.574
FeI	5543.94	105.034	0.124	17.154	FeI	6034.04	35.120	0.125	19.873
FeI	5546.51	114.981	0.141	10.943	FeI	6035.34	26.561	0.130	19.847
FeI	5553.58	145.563	0.130	15.164	FeI	6054.08	34.246	0.115	17.402
FeI	5560.22	76.293	0.108	14.188	FeI	6056.01	79.942	0.110	17.971
FeI	5567.40	139.792	0.124	16.083	FeI	6078.49	84.253	0.122	15.382
FeI	5577.03	19.011	0.116	21.648	FeI	6079.01	63.209	0.129	15.522
FeI	5633.95	93.814	0.122	18.522	FeI	6082.72	143.451	0.131	14.168
FeI	5635.83	76.833	0.124	14.476	FeI	6089.57	99.606	0.124	15.242
FeI	5636.70	70.664	0.136	13.740	FeI	6094.38	35.695	0.104	18.228
FeI	5638.27	113.885	0.120	15.744	FeI	6096.67	58.631	0.097	15.413
FeI	5641.44	101.139	0.122	12.154	FeI	6098.25	56.092	0.121	17.122
FeI	5649.99	54.027	0.116	15.382	FeI	6120.25	101.744	0.110	14.402
FeI	5653.87	69.081	0.119	19.941	FeI	6127.91	86.369	0.113	10.581
FeI	5667.52	113.964	0.143	14.236	FeI	6151.62	144.970	0.117	15.933
FeI	5679.03	65.801	0.127	17.599	FeI	6157.73	123.562	0.123	15.376
FeI	5715.09	121.331	0.119	17.101	FeI	6165.36	80.128	0.124	16.104
FeI	5720.90	49.503	0.111	18.749	FeI	6173.34	150.992	0.140	13.230
FeI	5738.24	50.801	0.109	20.117	FeI	6180.21	131.927	0.143	14.315

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	6200.32	139.093	0.129	12.059	FeI	6653.86	31.628	0.140	17.256
FeI	6229.24	149.528	0.177	14.208	FeI	6699.15	33.838	0.125	14.835
FeI	6232.65	115.442	0.127	11.952	FeII	4923.93	130.189	0.128	14.594
FeI	6240.65	150.627	0.139	11.001	FeII	5234.63	67.992	0.127	12.332
FeI	6270.23	104.266	0.109	17.436	FeII	5425.25	51.227	0.130	17.613
FeI	6290.98	110.347	0.144	14.215	FeII	6084.11	27.852	0.142	20.549
FeI	6315.81	82.206	0.119	13.789	FeII	6113.32	14.240	0.112	18.938
FeI	6322.69	145.021	0.127	13.580	FeII	6149.25	50.933	0.140	14.080
FeI	6380.75	88.196	0.121	14.770	FeII	6247.56	28.451	0.123	19.131
FeI	6385.72	27.136	0.100	17.887	FeII	6369.46	20.841	0.096	18.296
FeI	6392.54	90.292	0.113	14.623	FeII	6416.93	59.213	0.142	17.798
FeI	6481.88	145.560	0.118	13.801	FeII	6432.69	39.214	0.131	16.977
FeI	6627.55	55.660	0.115	16.914	FeII	6456.39	32.939	0.106	18.288
FeI	6646.94	80.310	0.134	15.578					

HD 16028 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	40.283	0.081	22.015	FeI	5223.19	72.964	0.099	13.852
FeI	4787.83	119.605	0.110	18.301	FeI	5228.38	135.718	0.141	14.104
FeI	4788.76	137.916	0.100	16.116	FeI	5242.50	128.803	0.117	17.286
FeI	4793.97	58.824	0.092	20.316	FeI	5243.78	103.549	0.116	15.435
FeI	4794.36	65.805	0.083	19.890	FeI	5253.02	96.350	0.116	13.565
FeI	4799.41	86.911	0.100	14.413	FeI	5253.47	140.174	0.125	12.809
FeI	4802.52	43.200	0.095	18.963	FeI	5288.53	123.027	0.121	17.291
FeI	4802.88	95.467	0.099	20.970	FeI	5293.96	82.467	0.110	19.004
FeI	4809.94	51.590	0.085	21.568	FeI	5294.55	55.285	0.112	19.749
FeI	4811.05	71.664	0.091	14.448	FeI	5295.32	65.429	0.106	17.903
FeI	4905.14	110.069	0.115	18.088	FeI	5373.71	99.499	0.110	18.420
FeI	4952.65	80.066	0.101	14.269	FeI	5379.58	106.955	0.103	19.906
FeI	4962.58	94.009	0.106	16.191	FeI	5386.34	65.476	0.096	16.056
FeI	4967.90	124.379	0.107	12.587	FeI	5389.48	124.002	0.112	11.166
FeI	4993.70	123.547	0.109	9.655	FeI	5395.22	51.522	0.103	16.719
FeI	5054.65	95.072	0.105	17.665	FeI	5398.28	106.402	0.132	16.270
FeI	5074.76	149.870	0.128	15.920	FeI	5417.04	62.172	0.109	20.613
FeI	5187.91	127.770	0.128	13.646	FeI	5441.34	68.156	0.105	21.013
FeI	5196.06	143.008	0.124	9.709	FeI	5461.55	67.037	0.108	21.401
FeI	5197.94	60.666	0.093	14.613	FeI	5466.99	88.854	0.104	17.293
FeI	5217.40	149.839	0.107	15.093	FeI	5473.17	63.388	0.110	12.911

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5491.83	43.844	0.125	21.581	FeI	5855.08	45.485	0.120	21.066
FeI	5522.45	78.053	0.107	19.420	FeI	5856.09	79.859	0.143	18.497
FeI	5538.52	75.165	0.104	19.158	FeI	5862.36	112.864	0.122	16.709
FeI	5543.94	93.188	0.102	18.447	FeI	5902.48	29.526	0.103	18.085
FeI	5546.51	99.694	0.113	12.268	FeI	5905.68	84.290	0.106	17.872
FeI	5547.00	129.849	0.116	14.267	FeI	5916.26	136.926	0.107	13.600
FeI	5560.22	81.043	0.101	17.446	FeI	5927.79	65.935	0.097	18.445
FeI	5567.40	150.070	0.114	16.238	FeI	5929.68	70.128	0.102	16.315
FeI	5577.03	23.237	0.124	21.120	FeI	5930.19	110.811	0.106	15.889
FeI	5618.64	86.453	0.106	16.577	FeI	5934.66	118.118	0.108	14.579
FeI	5619.60	81.070	0.112	15.190	FeI	5983.69	99.028	0.114	15.275
FeI	5633.95	91.723	0.106	18.842	FeI	5987.07	99.182	0.117	17.920
FeI	5635.83	70.575	0.103	17.560	FeI	6005.55	96.834	0.106	17.264
FeI	5636.70	62.996	0.103	14.528	FeI	6024.06	127.602	0.109	16.326
FeI	5638.27	121.236	0.110	15.762	FeI	6027.06	101.225	0.105	17.364
FeI	5641.44	120.809	0.110	11.284	FeI	6035.34	27.905	0.108	21.163
FeI	5649.99	55.890	0.106	15.501	FeI	6054.08	27.179	0.094	18.790
FeI	5651.47	59.200	0.131	20.310	FeI	6056.01	93.600	0.104	18.196
FeI	5652.32	55.876	0.095	21.094	FeI	6078.49	95.923	0.116	15.276
FeI	5653.87	69.072	0.102	18.345	FeI	6079.01	69.230	0.114	15.311
FeI	5661.35	69.944	0.142	16.435	FeI	6082.72	131.375	0.122	15.194
FeI	5667.52	118.954	0.142	13.959	FeI	6089.57	82.162	0.109	15.855
FeI	5679.03	80.942	0.114	17.722	FeI	6094.38	44.136	0.108	20.083
FeI	5715.09	122.740	0.109	16.346	FeI	6096.67	68.403	0.096	16.585
FeI	5720.90	46.384	0.107	18.908	FeI	6098.25	48.339	0.108	16.862
FeI	5731.77	98.183	0.105	13.987	FeI	6120.25	88.560	0.100	16.169
FeI	5738.24	48.736	0.104	19.775	FeI	6127.91	97.261	0.112	12.531
FeI	5741.85	81.181	0.127	19.017	FeI	6151.62	134.578	0.106	16.096
FeI	5752.04	79.216	0.103	18.801	FeI	6157.73	128.011	0.118	16.086
FeI	5775.08	94.203	0.113	18.248	FeI	6165.36	80.073	0.103	16.596
FeI	5778.46	95.898	0.116	18.217	FeI	6180.21	133.392	0.129	15.059
FeI	5793.92	67.904	0.107	18.924	FeI	6187.99	85.088	0.113	16.437
FeI	5806.73	90.129	0.110	17.404	FeI	6200.32	142.561	0.115	15.211
FeI	5809.22	105.957	0.110	17.057	FeI	6226.74	67.133	0.104	18.262
FeI	5811.92	34.245	0.094	19.847	FeI	6229.24	114.056	0.117	16.592
FeI	5814.81	54.305	0.099	18.199	FeI	6232.65	132.135	0.115	12.056
FeI	5815.22	38.542	0.103	18.073	FeI	6240.65	133.847	0.112	11.697
FeI	5827.88	55.808	0.098	18.895	FeI	6270.23	122.506	0.109	16.667
FeI	5853.15	79.264	0.118	13.773	FeI	6290.98	117.484	0.138	14.687

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	6315.81	85.470	0.115	13.106	FeII	5414.07	36.952	0.111	19.885
FeI	6380.75	98.020	0.115	15.453	FeII	5425.25	45.005	0.104	18.799
FeI	6385.72	27.811	0.102	19.380	FeII	5525.12	33.731	0.125	17.293
FeI	6392.54	96.987	0.110	15.679	FeII	5991.38	45.623	0.112	15.105
FeI	6581.21	131.096	0.127	13.355	FeII	6084.11	29.045	0.113	20.247
FeI	6608.03	93.001	0.115	16.110	FeII	6149.25	34.573	0.106	17.950
FeI	6627.55	58.549	0.115	18.285	FeII	6238.39	60.255	0.137	18.321
FeI	6646.94	73.021	0.129	16.870	FeII	6247.56	45.731	0.114	19.622
FeI	6653.86	26.888	0.112	17.879	FeII	6369.46	23.397	0.106	19.192
FeI	6699.15	22.642	0.118	17.221	FeII	6416.93	46.277	0.119	18.494
FeII	5197.57	104.389	0.123	13.468	FeII	6432.69	51.664	0.116	17.167
FeII	5234.63	91.939	0.130	11.788	FeII	6456.39	49.919	0.111	16.936
FeII	5256.94	54.855	0.138	19.313					

HD 23049 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	53.787	0.094	19.687	FeI	5373.71	129.622	0.127	15.565
FeI	4788.76	144.184	0.101	15.627	FeI	5379.58	110.873	0.105	20.143
FeI	4793.97	65.620	0.110	19.278	FeI	5386.34	71.371	0.097	16.022
FeI	4794.36	83.666	0.107	19.017	FeI	5389.48	108.065	0.103	11.614
FeI	4799.41	99.003	0.112	13.667	FeI	5395.22	62.878	0.143	14.646
FeI	4802.52	45.331	0.091	18.119	FeI	5398.28	108.096	0.134	15.410
FeI	4802.88	88.557	0.096	20.898	FeI	5417.04	70.222	0.120	19.864
FeI	4809.94	55.579	0.089	19.745	FeI	5441.34	78.821	0.112	20.324
FeI	4905.14	138.333	0.126	16.731	FeI	5461.55	79.920	0.111	20.281
FeI	4952.65	86.944	0.103	13.836	FeI	5466.99	97.035	0.106	17.300
FeI	4961.92	71.225	0.089	16.172	FeI	5491.83	54.211	0.125	21.574
FeI	4962.58	81.644	0.104	16.378	FeI	5522.45	80.308	0.110	19.490
FeI	4967.90	132.627	0.114	11.945	FeI	5538.52	84.690	0.110	17.474
FeI	5067.15	147.872	0.128	9.747	FeI	5543.94	99.961	0.106	19.306
FeI	5223.19	77.857	0.099	13.071	FeI	5546.51	105.315	0.115	11.597
FeI	5242.50	126.064	0.118	17.712	FeI	5618.64	84.942	0.108	16.052
FeI	5243.78	111.878	0.118	14.632	FeI	5619.60	89.464	0.109	13.458
FeI	5293.96	82.296	0.108	18.960	FeI	5633.95	98.705	0.110	18.284
FeI	5294.55	66.161	0.117	18.579	FeI	5635.83	76.456	0.107	16.381
FeI	5295.32	61.888	0.102	16.683	FeI	5636.70	65.932	0.104	14.741

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5638.27	131.981	0.113	16.684	FeI	6078.49	98.478	0.119	15.365
FeI	5641.44	116.802	0.113	10.968	FeI	6079.01	72.650	0.115	15.134
FeI	5649.99	68.158	0.115	14.374	FeI	6082.72	143.281	0.125	13.555
FeI	5653.87	75.476	0.106	17.595	FeI	6089.57	91.437	0.114	15.839
FeI	5661.35	75.979	0.143	16.198	FeI	6094.38	52.820	0.112	17.839
FeI	5662.52	138.982	0.139	8.356	FeI	6096.67	76.920	0.106	15.472
FeI	5667.52	135.498	0.146	13.092	FeI	6098.25	62.888	0.115	16.536
FeI	5679.03	80.086	0.113	16.576	FeI	6120.25	102.588	0.108	14.546
FeI	5715.09	131.842	0.114	16.091	FeI	6127.91	89.096	0.108	10.957
FeI	5720.90	55.065	0.111	18.751	FeI	6151.62	140.277	0.112	16.902
FeI	5731.77	98.605	0.106	12.753	FeI	6157.73	144.056	0.127	15.369
FeI	5738.24	67.661	0.109	18.971	FeI	6159.38	57.039	0.111	17.134
FeI	5741.85	81.333	0.121	17.661	FeI	6165.36	78.407	0.101	17.340
FeI	5752.04	77.677	0.103	18.870	FeI	6180.21	145.485	0.141	14.476
FeI	5775.08	98.773	0.117	17.299	FeI	6187.99	99.038	0.123	16.142
FeI	5778.46	100.245	0.117	17.464	FeI	6226.74	71.896	0.107	16.568
FeI	5793.92	80.472	0.115	17.723	FeI	6229.24	123.914	0.127	15.557
FeI	5809.22	119.448	0.117	17.121	FeI	6232.65	134.698	0.120	12.032
FeI	5811.92	40.122	0.096	18.922	FeI	6240.65	143.092	0.117	12.409
FeI	5814.81	66.100	0.105	18.403	FeI	6270.23	117.585	0.105	16.829
FeI	5815.22	42.902	0.102	17.339	FeI	6290.98	124.886	0.140	13.695
FeI	5827.88	66.731	0.102	18.604	FeI	6315.81	88.932	0.117	13.055
FeI	5856.09	86.805	0.139	18.010	FeI	6380.75	113.670	0.126	15.313
FeI	5862.36	115.998	0.128	15.759	FeI	6385.72	41.074	0.112	18.633
FeI	5902.48	42.958	0.115	15.115	FeI	6392.54	92.528	0.106	14.590
FeI	5905.68	93.424	0.114	15.921	FeI	6627.55	64.540	0.119	17.121
FeI	5927.79	70.305	0.099	18.588	FeI	6699.15	28.345	0.111	16.113
FeI	5929.68	75.701	0.110	15.479	FeII	4923.93	140.477	0.112	13.707
FeI	5930.19	121.460	0.111	15.125	FeII	5234.63	107.446	0.144	9.607
FeI	5934.66	120.059	0.111	12.757	FeII	5425.25	41.946	0.103	19.440
FeI	5983.69	94.204	0.113	15.216	FeII	5525.12	43.709	0.141	16.419
FeI	5987.07	107.291	0.122	16.963	FeII	5991.38	56.180	0.138	14.759
FeI	6005.55	103.252	0.111	15.865	FeII	6084.11	30.697	0.129	18.919
FeI	6024.06	135.942	0.117	14.841	FeII	6113.32	34.623	0.167	18.141
FeI	6027.06	102.603	0.108	17.288	FeII	6149.25	40.623	0.120	15.383
FeI	6034.04	47.613	0.132	19.026	FeII	6247.56	51.954	0.142	18.915
FeI	6035.34	33.033	0.111	20.443	FeII	6369.46	19.841	0.103	18.195
FeI	6054.08	31.347	0.090	18.353	FeII	6416.93	51.981	0.130	18.151
FeI	6056.01	90.002	0.103	17.893	FeII	6432.69	57.282	0.134	17.408

HD 25350 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4757.58	149.143	0.169	17.939	FeI	6096.67	61.566	0.142	18.341
FeI	4779.44	81.809	0.127	18.478	FeI	6120.25	45.335	0.146	18.475
FeI	4780.81	33.725	0.116	24.925	FeI	6127.91	96.489	0.146	17.110
FeI	4787.83	90.118	0.135	21.269	FeI	6151.62	113.525	0.141	15.770
FeI	4809.94	38.307	0.133	21.341	FeI	6157.73	122.714	0.143	16.662
FeI	4905.14	108.224	0.169	20.584	FeI	6159.38	35.525	0.131	20.933
FeI	5054.65	76.434	0.138	22.588	FeI	6165.36	71.217	0.120	18.804
FeI	5090.78	129.710	0.172	19.730	FeI	6180.21	144.228	0.191	14.971
FeI	5242.50	147.268	0.192	18.591	FeI	6187.99	92.956	0.166	16.911
FeI	5293.96	61.513	0.154	21.225	FeI	6200.32	130.524	0.143	15.392
FeI	5373.71	85.232	0.141	19.753	FeI	6226.74	59.328	0.132	17.571
FeI	5417.04	61.513	0.159	22.615	FeI	6229.24	112.754	0.152	16.288
FeI	5441.34	70.677	0.173	21.423	FeI	6270.23	126.338	0.140	15.305
FeI	5461.55	50.487	0.154	21.637	FeI	6322.69	143.834	0.144	13.926
FeI	5538.52	64.138	0.144	20.467	FeI	6380.75	110.825	0.144	15.154
FeI	5543.94	76.568	0.131	19.024	FeI	6481.88	138.675	0.135	14.363
FeI	5553.58	109.289	0.141	18.109	FeI	6498.94	139.503	0.138	12.507
FeI	5618.64	88.115	0.168	18.371	FeI	6581.21	102.569	0.143	14.276
FeI	5635.83	51.766	0.146	20.560	FeI	6608.03	76.146	0.130	17.402
FeI	5720.90	36.149	0.145	20.132	FeI	6609.12	148.133	0.143	12.042
FeI	5738.24	50.609	0.180	21.705	FeI	6627.55	67.663	0.135	17.647
FeI	5741.85	65.664	0.143	19.220	FeI	6646.94	56.043	0.165	18.584
FeI	5775.08	115.578	0.191	18.254	FeI	6699.15	24.842	0.136	17.110
FeI	5778.46	72.152	0.165	20.022	FeII	5256.94	81.971	0.194	20.506
FeI	5809.22	88.094	0.144	18.226	FeII	5425.25	75.469	0.146	17.990
FeI	5852.22	80.833	0.154	19.820	FeII	5991.38	81.971	0.147	15.562
FeI	5905.68	82.805	0.156	18.397	FeII	6149.25	72.242	0.145	17.752
FeI	5927.79	74.758	0.154	18.405	FeII	6238.39	96.364	0.145	18.063
FeI	5987.07	98.122	0.147	17.042	FeII	6247.56	103.965	0.145	15.976
FeI	6005.55	81.062	0.144	18.449	FeII	6369.46	55.571	0.137	16.780
FeI	6024.06	141.367	0.144	14.791	FeII	6407.29	56.056	0.160	16.442
FeI	6027.06	105.686	0.142	16.444	FeII	6416.93	83.543	0.159	17.878
FeI	6034.04	31.760	0.142	19.117	FeII	6432.69	86.696	0.142	17.459
FeI	6056.01	101.270	0.141	17.506	FeII	6456.39	124.323	0.146	13.339
FeI	6094.38	53.552	0.179	19.724	FeII	6516.09	110.312	0.135	13.720

HD 28171 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4757.58	91.989	0.088	18.618	FeI	5243.78	82.522	0.100	18.662
FeI	4772.82	146.106	0.093	17.119	FeI	5250.21	145.175	0.106	11.804
FeI	4779.44	81.405	0.085	19.298	FeI	5253.02	61.887	0.099	16.366
FeI	4780.81	26.266	0.078	24.376	FeI	5253.47	113.029	0.106	15.193
FeI	4787.83	90.862	0.096	19.149	FeI	5288.53	91.808	0.099	18.699
FeI	4788.76	88.927	0.094	16.171	FeI	5293.96	58.697	0.097	20.512
FeI	4789.65	126.626	0.111	15.760	FeI	5294.55	38.362	0.092	21.283
FeI	4793.97	25.285	0.080	23.851	FeI	5295.32	47.615	0.091	20.583
FeI	4794.36	35.019	0.085	22.639	FeI	5373.71	78.527	0.092	20.580
FeI	4799.41	55.762	0.080	18.411	FeI	5379.58	92.017	0.095	20.761
FeI	4802.52	28.242	0.087	21.790	FeI	5386.34	57.097	0.092	19.215
FeI	4802.88	86.586	0.092	21.906	FeI	5389.48	100.079	0.095	15.142
FeI	4808.15	58.735	0.088	14.420	FeI	5395.22	39.778	0.119	17.591
FeI	4809.94	35.064	0.074	23.108	FeI	5398.28	89.129	0.111	18.189
FeI	4905.14	70.873	0.097	21.615	FeI	5401.27	59.009	0.120	19.314
FeI	4924.77	150.879	0.105	14.713	FeI	5406.78	61.237	0.104	16.557
FeI	4946.39	132.181	0.104	18.189	FeI	5409.14	94.335	0.117	15.001
FeI	4952.65	75.292	0.098	16.434	FeI	5417.04	55.664	0.099	21.473
FeI	4961.92	57.660	0.089	20.041	FeI	5432.95	89.658	0.101	13.111
FeI	4962.58	76.763	0.092	20.735	FeI	5436.59	114.452	0.113	13.035
FeI	4967.90	108.239	0.094	16.853	FeI	5441.34	55.111	0.095	21.995
FeI	4993.70	91.775	0.095	12.843	FeI	5461.55	48.751	0.098	22.028
FeI	5044.22	113.048	0.095	19.001	FeI	5464.28	63.263	0.091	19.287
FeI	5054.65	67.300	0.087	22.413	FeI	5466.99	70.436	0.097	17.733
FeI	5074.76	133.600	0.114	17.822	FeI	5491.83	28.931	0.111	21.607
FeI	5088.15	68.079	0.106	17.524	FeI	5522.45	66.937	0.097	20.761
FeI	5090.78	116.035	0.108	17.412	FeI	5538.52	57.525	0.090	20.666
FeI	5141.74	140.973	0.104	14.960	FeI	5543.94	84.690	0.095	18.621
FeI	5143.73	83.443	0.108	18.712	FeI	5546.51	76.293	0.098	15.818
FeI	5180.06	86.952	0.106	16.484	FeI	5547.00	66.464	0.104	17.189
FeI	5187.91	95.673	0.104	17.247	FeI	5560.22	66.397	0.088	20.118
FeI	5195.48	131.671	0.104	11.845	FeI	5567.40	117.601	0.121	17.030
FeI	5196.06	99.233	0.097	12.981	FeI	5584.77	82.043	0.117	16.421
FeI	5197.94	57.580	0.091	16.394	FeI	5618.64	72.713	0.096	19.195
FeI	5217.40	131.845	0.100	16.816	FeI	5619.60	59.742	0.101	17.848
FeI	5223.19	54.697	0.087	16.651	FeI	5633.95	87.242	0.101	18.701
FeI	5225.53	148.617	0.118	11.944	FeI	5635.83	56.698	0.092	17.890
FeI	5228.38	112.606	0.137	16.921	FeI	5636.70	46.035	0.092	17.289
FeI	5229.86	133.708	0.115	14.621	FeI	5638.27	100.734	0.097	17.490
FeI	5242.50	115.009	0.107	18.762	FeI	5641.44	92.964	0.097	13.104

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5649.99	44.036	0.089	17.466	FeI	6024.06	119.569	0.104	17.265
FeI	5651.47	34.702	0.093	21.608	FeI	6027.06	92.387	0.100	18.087
FeI	5652.32	47.551	0.091	21.743	FeI	6034.04	19.211	0.099	20.243
FeI	5653.87	49.701	0.084	20.109	FeI	6054.08	17.920	0.086	19.859
FeI	5661.35	44.863	0.116	19.724	FeI	6056.01	70.072	0.101	17.683
FeI	5667.52	88.345	0.125	15.815	FeI	6078.49	89.833	0.108	15.800
FeI	5679.03	75.605	0.104	18.978	FeI	6079.01	59.794	0.103	16.542
FeI	5680.24	28.440	0.104	21.249	FeI	6082.72	87.630	0.109	17.359
FeI	5701.55	128.476	0.102	14.508	FeI	6089.57	59.277	0.098	17.374
FeI	5715.09	100.656	0.100	17.938	FeI	6094.38	35.885	0.104	19.839
FeI	5720.90	32.553	0.100	20.680	FeI	6096.67	61.740	0.099	17.658
FeI	5731.77	86.130	0.097	15.647	FeI	6098.25	29.594	0.096	18.840
FeI	5738.24	25.169	0.087	22.067	FeI	6120.25	40.006	0.094	18.496
FeI	5741.85	59.939	0.102	19.764	FeI	6127.91	77.639	0.103	17.694
FeI	5752.04	73.015	0.117	18.069	FeI	6151.62	94.221	0.099	18.166
FeI	5775.08	81.451	0.101	19.409	FeI	6157.73	96.919	0.107	16.824
FeI	5778.46	65.484	0.100	19.802	FeI	6159.38	25.449	0.100	20.233
FeI	5793.92	57.459	0.097	20.313	FeI	6165.36	67.436	0.099	18.000
FeI	5806.73	72.034	0.096	19.676	FeI	6173.34	115.084	0.113	16.400
FeI	5809.22	81.704	0.097	18.357	FeI	6180.21	101.416	0.118	16.736
FeI	5811.92	24.560	0.094	21.244	FeI	6187.99	71.044	0.104	17.911
FeI	5814.81	44.306	0.095	19.594	FeI	6200.32	115.005	0.107	16.627
FeI	5815.22	23.012	0.085	19.168	FeI	6213.44	130.933	0.108	14.229
FeI	5827.88	37.632	0.096	20.896	FeI	6219.29	145.761	0.115	15.765
FeI	5852.22	65.505	0.116	19.337	FeI	6220.79	43.710	0.112	15.589
FeI	5853.15	39.872	0.107	17.090	FeI	6229.24	84.990	0.111	17.772
FeI	5855.08	36.395	0.107	21.056	FeI	6232.65	113.849	0.112	14.957
FeI	5856.09	61.634	0.122	20.845	FeI	6240.65	94.945	0.101	15.328
FeI	5862.36	98.464	0.111	19.203	FeI	6265.14	141.664	0.112	15.313
FeI	5902.48	20.841	0.086	21.773	FeI	6270.23	92.900	0.103	17.355
FeI	5905.68	76.065	0.097	19.056	FeI	6290.98	79.081	0.114	15.866
FeI	5916.26	98.455	0.099	17.506	FeI	6297.80	148.190	0.125	14.959
FeI	5929.68	59.996	0.096	17.107	FeI	6315.81	67.541	0.110	14.533
FeI	5930.19	111.176	0.098	16.769	FeI	6322.69	120.207	0.112	15.484
FeI	5934.66	97.450	0.099	17.901	FeI	6335.34	149.523	0.116	15.412
FeI	5956.70	117.355	0.114	17.382	FeI	6336.83	131.217	0.120	16.087
FeI	5983.69	87.634	0.106	16.900	FeI	6358.68	150.931	0.115	15.306
FeI	5984.82	96.481	0.109	16.880	FeI	6380.75	77.110	0.109	17.818
FeI	5987.07	89.595	0.109	17.995	FeI	6392.54	53.336	0.100	17.021
FeI	6005.55	67.128	0.100	19.388	FeI	6481.88	118.215	0.119	15.078

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	6498.94	114.472	0.117	14.090	FeII	5414.07	37.530	0.096	20.458
FeI	6593.88	137.690	0.129	14.014	FeII	5425.25	54.052	0.099	20.037
FeI	6608.03	59.769	0.117	17.012	FeII	5991.38	55.085	0.109	17.484
FeI	6609.12	120.839	0.132	13.362	FeII	6084.11	33.942	0.110	20.459
FeI	6627.55	43.790	0.111	18.475	FeII	6113.32	22.460	0.112	20.901
FeI	6646.94	38.238	0.127	18.780	FeII	6149.25	51.723	0.114	18.202
FeI	6653.86	18.250	0.101	19.069	FeII	6238.39	57.962	0.117	18.528
FeII	5132.67	41.842	0.097	20.154	FeII	6247.56	57.756	0.104	18.663
FeII	5197.57	102.290	0.101	14.125	FeII	6369.46	29.925	0.108	19.598
FeII	5234.63	102.561	0.121	13.997	FeII	6407.29	33.330	0.117	18.516
FeII	5256.94	38.318	0.103	22.761	FeII	6416.93	46.670	0.112	18.636
FeII	5264.81	56.427	0.093	13.688	FeII	6432.69	58.069	0.118	17.434
FeII	5284.11	88.373	0.109	10.233	FeII	6456.39	66.184	0.115	18.012

HD 34190 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	54.773	0.094	21.728	FeI	5253.02	98.232	0.113	14.638
FeI	4788.76	102.368	0.105	17.644	FeI	5293.96	83.621	0.110	18.753
FeI	4793.97	51.033	0.091	21.193	FeI	5294.55	59.461	0.110	19.003
FeI	4794.36	71.502	0.100	20.797	FeI	5295.32	56.455	0.099	17.166
FeI	4799.41	85.811	0.104	14.645	FeI	5373.71	110.216	0.120	18.106
FeI	4802.52	48.219	0.098	17.835	FeI	5379.58	117.398	0.112	18.887
FeI	4802.88	107.580	0.110	19.027	FeI	5386.34	65.366	0.095	18.245
FeI	4809.94	62.237	0.097	19.723	FeI	5389.48	108.072	0.107	12.073
FeI	4811.05	81.968	0.099	12.370	FeI	5398.28	118.697	0.138	15.743
FeI	4905.14	134.454	0.127	17.838	FeI	5417.04	77.957	0.122	19.121
FeI	4952.65	97.969	0.109	14.520	FeI	5441.34	84.959	0.114	21.226
FeI	4961.92	84.201	0.100	16.649	FeI	5461.55	72.916	0.112	20.856
FeI	4962.58	89.230	0.102	18.723	FeI	5466.99	100.656	0.112	16.810
FeI	4967.90	129.194	0.114	12.567	FeI	5491.83	62.132	0.133	20.520
FeI	5054.65	88.206	0.104	20.817	FeI	5522.45	98.236	0.122	18.412
FeI	5067.15	132.209	0.129	12.764	FeI	5538.52	81.444	0.105	18.101
FeI	5088.15	94.122	0.117	12.812	FeI	5543.94	105.916	0.109	18.544
FeI	5143.73	141.134	0.131	15.223	FeI	5546.51	119.760	0.125	11.000
FeI	5187.91	125.798	0.124	15.301	FeI	5547.00	149.362	0.127	13.882
FeI	5223.19	68.010	0.094	13.873	FeI	5560.22	83.699	0.105	16.487
FeI	5242.50	135.763	0.123	17.029	FeI	5618.64	94.765	0.116	17.665
FeI	5243.78	116.762	0.122	14.274	FeI	5619.60	87.173	0.111	14.775

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5633.95	99.410	0.115	17.506	FeI	6078.49	108.953	0.123	14.758
FeI	5635.83	79.584	0.109	17.028	FeI	6079.01	89.236	0.140	14.058
FeI	5636.70	64.579	0.106	14.157	FeI	6089.57	89.792	0.117	15.149
FeI	5638.27	135.130	0.120	15.702	FeI	6094.38	59.342	0.121	19.049
FeI	5649.99	54.218	0.097	15.887	FeI	6096.67	87.040	0.113	15.321
FeI	5652.32	58.938	0.093	18.361	FeI	6120.25	102.717	0.113	15.254
FeI	5653.87	62.658	0.095	18.891	FeI	6127.91	119.806	0.129	11.584
FeI	5667.52	141.858	0.146	12.746	FeI	6159.38	61.586	0.123	17.703
FeI	5679.03	79.081	0.109	17.178	FeI	6165.36	90.770	0.112	16.430
FeI	5715.09	143.278	0.124	16.802	FeI	6187.99	100.352	0.119	16.568
FeI	5720.90	58.257	0.113	18.284	FeI	6200.32	145.713	0.118	15.013
FeI	5738.24	64.592	0.110	19.561	FeI	6226.74	89.159	0.118	16.465
FeI	5741.85	79.578	0.123	18.573	FeI	6229.24	141.955	0.134	15.369
FeI	5752.04	97.193	0.116	17.197	FeI	6232.65	138.847	0.118	12.283
FeI	5775.08	105.796	0.122	17.797	FeI	6240.65	138.115	0.117	12.046
FeI	5778.46	110.023	0.123	16.471	FeI	6270.23	145.200	0.122	15.195
FeI	5793.92	90.126	0.122	17.412	FeI	6290.98	136.126	0.142	14.143
FeI	5806.73	89.801	0.109	17.717	FeI	6315.81	118.984	0.138	12.068
FeI	5809.22	127.494	0.122	16.899	FeI	6380.75	135.058	0.136	14.632
FeI	5811.92	42.572	0.102	19.329	FeI	6385.72	46.868	0.120	18.284
FeI	5815.22	52.582	0.110	15.285	FeI	6392.54	108.744	0.119	12.481
FeI	5827.88	77.045	0.113	18.122	FeI	6608.03	122.903	0.139	15.733
FeI	5855.08	52.105	0.115	19.806	FeI	6627.55	70.850	0.121	17.216
FeI	5856.09	98.837	0.143	18.605	FeI	6699.15	33.427	0.128	16.989
FeI	5862.36	132.589	0.138	15.906	FeII	5197.57	128.605	0.134	11.545
FeI	5902.48	33.064	0.105	18.006	FeII	5234.63	97.881	0.136	11.201
FeI	5905.68	103.250	0.122	17.138	FeII	5256.94	68.013	0.136	19.007
FeI	5927.79	67.783	0.098	18.341	FeII	5425.25	47.051	0.103	20.243
FeI	5929.68	83.943	0.113	15.351	FeII	5525.12	50.020	0.133	15.080
FeI	5930.19	142.283	0.120	13.927	FeII	5991.38	68.958	0.130	14.044
FeI	5983.69	109.255	0.122	13.981	FeII	6084.11	46.012	0.137	18.331
FeI	5987.07	118.744	0.128	16.803	FeII	6149.25	37.658	0.140	18.665
FeI	6005.55	124.083	0.123	16.344	FeII	6247.56	71.867	0.141	16.375
FeI	6027.06	118.713	0.117	16.725	FeII	6369.46	27.521	0.106	71.892
FeI	6034.04	56.528	0.139	18.443	FeII	6416.93	57.600	0.126	17.350
FeI	6035.34	44.145	0.127	19.100	FeII	6432.69	60.529	0.125	16.910
FeI	6054.08	36.301	0.102	18.205	FeII	6456.39	56.169	0.115	16.409
FeI	6056.01	100.578	0.110	17.101	FeII	6516.09	69.602	0.123	15.559

HD 60935 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4779.44	132.786	0.096	17.212	FeI	5398.28	115.131	0.123	16.051
FeI	4780.81	48.168	0.084	20.793	FeI	5401.27	101.119	0.128	16.548
FeI	4787.83	109.538	0.100	20.214	FeI	5406.78	74.690	0.111	13.964
FeI	4788.76	123.582	0.090	17.421	FeI	5417.04	66.901	0.101	20.934
FeI	4793.97	48.671	0.095	20.954	FeI	5432.95	102.224	0.105	11.209
FeI	4794.36	63.034	0.090	20.893	FeI	5436.30	73.627	0.096	9.426
FeI	4799.41	78.429	0.092	14.595	FeI	5441.34	71.128	0.098	20.118
FeI	4802.52	44.636	0.090	19.491	FeI	5461.55	60.690	0.092	20.677
FeI	4802.88	94.121	0.092	20.838	FeI	5464.28	86.113	0.097	17.720
FeI	4808.15	68.018	0.084	13.176	FeI	5466.99	81.767	0.094	17.586
FeI	4809.94	56.925	0.085	20.101	FeI	5473.17	62.801	0.102	13.871
FeI	4811.05	77.993	0.089	13.681	FeI	5491.83	50.301	0.124	20.947
FeI	4905.14	106.063	0.105	18.935	FeI	5522.45	83.569	0.100	18.240
FeI	4952.65	85.889	0.096	14.777	FeI	5538.52	71.619	0.092	19.330
FeI	4961.92	70.404	0.084	17.606	FeI	5543.94	94.784	0.095	18.866
FeI	4962.58	83.463	0.092	19.042	FeI	5546.51	97.146	0.105	13.773
FeI	4967.90	115.993	0.095	13.991	FeI	5547.00	107.554	0.103	15.309
FeI	4993.70	122.998	0.102	10.481	FeI	5560.22	80.003	0.093	17.771
FeI	5044.22	149.983	0.110	16.260	FeI	5567.40	145.713	0.128	15.140
FeI	5054.65	88.137	0.092	18.728	FeI	5577.03	31.768	0.121	20.674
FeI	5067.15	140.510	0.113	12.118	FeI	5584.77	100.661	0.120	14.365
FeI	5068.77	168.454	0.107	11.022	FeI	5618.64	79.891	0.096	17.368
FeI	5143.73	120.020	0.113	15.237	FeI	5619.60	70.178	0.095	17.209
FeI	5187.91	132.090	0.119	13.435	FeI	5633.95	92.218	0.098	18.625
FeI	5196.06	132.281	0.109	9.476	FeI	5635.83	73.756	0.096	17.367
FeI	5197.94	73.938	0.097	13.731	FeI	5636.70	67.094	0.096	14.812
FeI	5223.19	79.713	0.095	12.861	FeI	5638.27	118.515	0.102	15.908
FeI	5242.50	125.972	0.108	17.720	FeI	5649.99	59.898	0.095	15.941
FeI	5243.78	101.877	0.106	15.204	FeI	5651.47	51.417	0.099	20.398
FeI	5253.02	90.536	0.105	14.898	FeI	5652.32	52.833	0.085	19.343
FeI	5253.47	131.607	0.111	14.257	FeI	5653.87	68.653	0.092	19.432
FeI	5288.53	109.563	0.105	17.265	FeI	5661.35	64.130	0.121	17.477
FeI	5293.96	81.861	0.103	18.878	FeI	5667.52	115.046	0.131	14.221
FeI	5294.55	54.310	0.098	19.915	FeI	5679.03	81.192	0.102	18.869
FeI	5295.32	58.930	0.089	17.151	FeI	5680.24	46.277	0.104	18.076
FeI	5373.71	96.135	0.101	18.975	FeI	5715.09	117.414	0.102	16.901
FeI	5379.58	108.863	0.098	20.327	FeI	5720.90	51.484	0.102	18.728
FeI	5386.34	68.965	0.091	17.281	FeI	5731.77	102.491	0.100	13.571
FeI	5389.48	119.670	0.102	12.044	FeI	5738.24	53.507	0.095	20.206
FeI	5395.22	55.498	0.118	15.210	FeI	5741.85	71.170	0.098	20.119

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5778.46	87.844	0.104	18.852	FeI	6180.21	126.471	0.122	14.742
FeI	5793.92	69.239	0.097	19.489	FeI	6187.99	89.187	0.106	17.102
FeI	5806.73	86.711	0.100	17.770	FeI	6200.32	138.578	0.112	16.183
FeI	5809.22	102.009	0.102	17.521	FeI	6220.79	59.468	0.111	12.772
FeI	5811.92	37.475	0.093	20.098	FeI	6226.74	67.957	0.099	17.648
FeI	5814.81	58.710	0.095	18.312	FeI	6229.24	106.973	0.113	16.467
FeI	5815.22	42.742	0.094	17.409	FeI	6232.65	134.646	0.116	12.425
FeI	5827.88	61.922	0.100	19.305	FeI	6240.65	125.643	0.110	12.578
FeI	5852.22	106.233	0.129	17.093	FeI	6297.80	150.780	0.116	14.808
FeI	5853.15	59.823	0.098	15.372	FeI	6322.69	142.677	0.114	14.543
FeI	5855.08	46.567	0.109	20.231	FeI	6380.75	102.573	0.117	15.734
FeI	5856.09	76.402	0.122	19.491	FeI	6385.72	38.574	0.112	19.399
FeI	5862.36	113.341	0.117	17.894	FeI	6392.54	79.392	0.104	15.035
FeI	5902.48	38.936	0.103	19.152	FeI	6481.88	138.632	0.119	15.142
FeI	5905.68	98.143	0.107	17.985	FeI	6498.94	149.149	0.121	13.659
FeI	5916.26	126.001	0.103	15.074	FeI	6581.21	126.946	0.137	14.334
FeI	5927.79	72.107	0.095	19.076	FeI	6608.03	84.811	0.120	16.625
FeI	5929.68	73.847	0.097	16.417	FeI	6609.12	150.367	0.138	11.432
FeI	5930.19	116.034	0.101	15.837	FeI	6627.55	64.101	0.118	17.670
FeI	5934.66	117.067	0.102	15.844	FeI	6646.94	64.933	0.129	16.324
FeI	5983.69	88.128	0.097	16.082	FeI	6653.86	29.533	0.103	18.506
FeI	5987.07	106.296	0.113	17.396	FeI	6699.15	26.649	0.128	16.535
FeI	6005.55	88.100	0.101	17.766	FeII	4923.93	147.873	0.103	15.921
FeI	6024.06	131.799	0.107	15.724	FeII	5197.57	109.084	0.110	12.410
FeI	6027.06	97.896	0.098	17.994	FeII	5234.63	97.980	0.120	11.695
FeI	6035.34	28.076	0.107	20.920	FeII	5256.94	51.075	0.112	19.726
FeI	6054.08	26.540	0.090	18.866	FeII	5264.81	60.255	0.100	10.883
FeI	6056.01	93.978	0.099	17.735	FeII	5284.11	84.602	0.099	7.930
FeI	6078.49	100.506	0.111	15.033	FeII	5414.07	32.717	0.098	18.502
FeI	6079.01	73.688	0.109	15.365	FeII	5425.25	50.883	0.100	19.820
FeI	6082.72	118.163	0.114	15.597	FeII	5991.38	50.527	0.101	15.545
FeI	6089.57	78.505	0.103	15.770	FeII	6084.11	35.529	0.120	20.332
FeI	6094.38	49.683	0.103	19.988	FeII	6113.32	25.627	0.129	19.683
FeI	6120.25	73.532	0.096	16.525	FeII	6149.25	31.748	0.090	18.092
FeI	6127.91	91.835	0.105	14.394	FeII	6238.39	64.041	0.127	17.464
FeI	6151.62	114.519	0.099	17.157	FeII	6247.56	52.033	0.111	18.015
FeI	6157.73	122.666	0.114	15.375	FeII	6369.46	28.001	0.103	18.862
FeI	6159.38	39.028	0.097	18.881	FeII	6416.93	48.307	0.112	18.374
FeI	6165.36	83.982	0.103	17.207	FeII	6432.69	56.008	0.114	17.650
FeI	6173.34	139.785	0.119	15.561	FeII	6456.39	55.618	0.114	17.694

HD 74653 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	38.867	0.079	22.842	FeI	5618.64	72.057	0.094	16.560
FeI	4788.76	134.755	0.104	12.438	FeI	5633.95	100.217	0.110	17.892
FeI	4793.97	63.157	0.103	19.522	FeI	5635.83	61.525	0.098	17.843
FeI	4794.36	69.931	0.090	19.637	FeI	5636.70	50.690	0.093	16.083
FeI	4799.41	117.583	0.117	11.991	FeI	5638.27	124.573	0.109	17.114
FeI	4802.52	32.612	0.075	18.169	FeI	5641.44	89.098	0.097	13.135
FeI	4802.88	86.669	0.092	21.054	FeI	5649.99	70.920	0.111	16.051
FeI	4809.94	59.729	0.089	18.683	FeI	5653.87	66.509	0.100	19.736
FeI	4952.65	86.323	0.102	13.601	FeI	5661.35	58.198	0.129	18.941
FeI	4962.58	65.887	0.086	16.528	FeI	5662.52	112.257	0.118	9.381
FeI	5067.15	134.513	0.120	10.815	FeI	5667.52	107.582	0.132	15.096
FeI	5088.15	67.132	0.096	14.647	FeI	5679.03	67.224	0.102	17.710
FeI	5223.19	110.810	0.113	9.944	FeI	5680.24	40.356	0.092	17.597
FeI	5242.50	104.112	0.100	19.758	FeI	5715.09	133.339	0.109	16.763
FeI	5243.78	103.210	0.102	14.806	FeI	5720.90	44.617	0.098	18.411
FeI	5253.47	123.907	0.116	12.714	FeI	5731.77	91.389	0.101	13.398
FeI	5288.53	111.396	0.109	15.709	FeI	5752.04	75.664	0.109	19.452
FeI	5293.96	89.015	0.106	17.435	FeI	5775.08	80.651	0.100	18.512
FeI	5294.55	59.619	0.098	17.470	FeI	5778.46	102.809	0.113	17.801
FeI	5295.32	69.861	0.101	15.339	FeI	5793.92	67.518	0.105	19.424
FeI	5373.71	129.305	0.126	15.944	FeI	5806.73	71.263	0.096	17.350
FeI	5379.58	105.014	0.096	19.752	FeI	5809.22	105.935	0.106	17.782
FeI	5386.34	69.302	0.094	15.910	FeI	5811.92	33.867	0.093	19.699
FeI	5389.48	113.267	0.101	10.477	FeI	5814.81	62.717	0.098	17.604
FeI	5395.22	49.744	0.114	15.104	FeI	5815.22	39.550	0.100	17.583
FeI	5398.28	110.891	0.129	14.339	FeI	5827.88	70.384	0.107	18.205
FeI	5406.78	89.636	0.124	11.400	FeI	5853.15	97.269	0.099	12.362
FeI	5432.95	82.193	0.101	9.519	FeI	5855.08	51.525	0.115	18.821
FeI	5441.34	66.793	0.100	20.857	FeI	5862.36	100.312	0.118	16.506
FeI	5461.55	82.310	0.106	19.692	FeI	5905.68	71.887	0.111	16.516
FeI	5466.99	115.839	0.111	15.490	FeI	5916.26	136.868	0.115	13.772
FeI	5491.83	57.177	0.120	20.811	FeI	5927.79	77.147	0.104	17.496
FeI	5522.45	83.978	0.122	19.231	FeI	5929.68	62.359	0.108	17.319
FeI	5538.52	86.400	0.107	16.008	FeI	5930.19	95.520	0.103	17.094
FeI	5543.94	104.017	0.107	18.239	FeI	5934.66	115.267	0.116	13.282
FeI	5546.51	86.539	0.109	13.312	FeI	5983.69	79.726	0.105	15.658
FeI	5553.58	143.277	0.112	16.944	FeI	5987.07	86.251	0.113	18.330
FeI	5560.22	75.400	0.094	15.544	FeI	6005.55	95.159	0.106	17.245
FeI	5567.40	147.884	0.113	15.012	FeI	6024.06	127.805	0.118	15.324
FeI	5577.03	28.252	0.122	20.149	FeI	6027.06	95.071	0.107	17.847

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	6034.04	33.617	0.116	20.506	FeI	6290.98	102.690	0.119	15.046
FeI	6035.34	20.905	0.114	21.714	FeI	6315.81	71.466	0.102	14.707
FeI	6054.08	30.604	0.102	19.031	FeI	6322.69	143.451	0.120	13.777
FeI	6056.01	80.689	0.103	17.961	FeI	6336.83	145.699	0.129	13.313
FeI	6078.49	85.847	0.111	15.677	FeI	6380.75	83.247	0.114	15.501
FeI	6079.01	59.500	0.108	15.807	FeI	6385.72	27.692	0.103	18.251
FeI	6082.72	144.378	0.121	14.627	FeI	6392.54	84.182	0.106	14.189
FeI	6089.57	97.157	0.110	15.294	FeI	6481.88	148.731	0.125	14.643
FeI	6094.38	42.043	0.105	18.313	FeI	6653.86	26.044	0.116	17.738
FeI	6096.67	63.629	0.094	15.549	FeI	6699.15	23.258	0.123	15.795
FeI	6098.25	54.820	0.110	17.237	FeII	4923.93	116.247	0.098	17.286
FeI	6120.25	114.858	0.110	14.834	FeII	5234.63	63.514	0.110	13.828
FeI	6127.91	81.678	0.106	10.507	FeII	5264.81	75.702	0.128	9.025
FeI	6151.62	148.314	0.115	15.958	FeII	5425.25	43.423	0.101	18.816
FeI	6157.73	128.077	0.120	16.065	FeII	5991.38	44.944	0.119	14.764
FeI	6165.36	73.571	0.108	16.480	FeII	6084.11	26.045	0.123	20.405
FeI	6173.34	149.963	0.122	13.479	FeII	6113.32	16.384	0.101	19.721
FeI	6180.21	130.412	0.127	14.160	FeII	6238.39	29.500	0.137	19.789
FeI	6187.99	85.243	0.118	16.646	FeII	6247.56	37.723	0.146	18.949
FeI	6200.32	124.372	0.112	16.591	FeII	6416.93	58.387	0.140	17.682
FeI	6220.79	27.844	0.106	13.510	FeII	6432.69	41.960	0.135	17.142
FeI	6232.65	110.228	0.120	11.900	FeII	6456.39	28.174	0.099	18.593
FeI	6240.65	136.040	0.128	11.608	FeII	6516.09	57.480	0.135	16.236
FeI	6270.23	109.963	0.110	16.779					

HD 177697 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4788.76	108.810	0.103	11.860	FeI	5389.48	74.391	0.097	12.191
FeI	4802.88	91.719	0.101	15.803	FeI	5441.34	45.282	0.106	19.466
FeI	4809.94	75.606	0.122	18.269	FeI	5461.55	131.344	0.134	15.490
FeI	4993.70	110.835	0.112	7.773	FeI	5466.99	129.038	0.123	12.471
FeI	5243.78	89.578	0.108	13.797	FeI	5491.83	67.575	0.134	18.304
FeI	5293.96	107.645	0.126	15.266	FeI	5543.94	87.271	0.112	18.288
FeI	5295.32	82.681	0.102	13.380	FeI	5547.00	138.604	0.123	14.564
FeI	5373.71	119.091	0.143	17.288	FeI	5560.22	46.981	0.083	15.266
FeI	5379.58	101.932	0.108	18.443	FeI	5567.40	115.891	0.138	15.191
FeI	5386.34	56.903	0.094	16.550	FeI	5619.60	83.413	0.124	13.674

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5633.95	88.916	0.136	20.182	FeI	6094.38	37.181	0.130	16.158
FeI	5635.83	61.099	0.144	15.542	FeI	6096.67	59.222	0.114	13.881
FeI	5641.44	52.719	0.122	16.119	FeI	6098.25	60.886	0.130	16.510
FeI	5649.99	56.147	0.125	16.837	FeI	6120.25	107.290	0.120	13.372
FeI	5667.52	82.725	0.142	16.129	FeI	6127.91	79.573	0.120	11.263
FeI	5679.03	28.775	0.093	20.540	FeI	6151.62	146.954	0.133	13.092
FeI	5715.09	127.694	0.137	15.945	FeI	6157.73	104.305	0.136	16.347
FeI	5731.77	49.422	0.099	14.552	FeI	6173.34	112.257	0.127	11.713
FeI	5738.24	46.035	0.105	20.028	FeI	6200.32	107.517	0.133	10.566
FeI	5741.85	64.218	0.111	17.771	FeI	6270.23	56.144	0.109	16.678
FeI	5775.08	65.433	0.113	17.939	FeI	6297.80	127.800	0.145	12.807
FeI	5778.46	84.338	0.128	17.134	FeI	6315.81	39.627	0.108	13.633
FeI	5793.92	35.117	0.120	18.607	FeI	6322.69	86.957	0.117	14.048
FeI	5809.22	91.505	0.119	17.605	FeI	6336.83	101.288	0.141	13.773
FeI	5853.15	83.274	0.130	15.486	FeI	6481.88	141.621	0.142	12.374
FeI	5855.08	67.950	0.134	17.510	FeI	6609.12	114.748	0.136	12.263
FeI	5902.48	64.085	0.133	15.378	FeI	6646.94	46.032	0.122	17.402
FeI	5916.26	52.892	0.108	16.116	FeI	6699.15	31.422	0.112	13.342
FeI	5930.19	49.411	0.123	19.466	FeII	5234.63	64.247	0.112	14.405
FeI	5987.07	73.448	0.145	15.391	FeII	5425.25	21.874	0.091	20.125
FeI	6005.55	67.124	0.116	16.756	FeII	5427.81	27.140	0.127	20.231
FeI	6024.06	88.286	0.134	15.149	FeII	5525.12	42.148	0.098	17.852
FeI	6027.06	80.188	0.163	17.442	FeII	6084.11	41.139	0.130	19.257
FeI	6034.04	11.340	0.097	21.150	FeII	6113.32	14.127	0.102	19.121
FeI	6056.01	60.165	0.116	17.116	FeII	6416.93	86.163	0.139	15.421
FeI	6078.49	54.933	0.104	15.928	FeII	6432.69	43.407	0.143	16.115
FeI	6082.72	141.772	0.143	12.625	FeII	6456.39	36.705	0.112	17.913
FeI	6089.57	98.867	0.123	14.748					

HD 187734 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	55.594	0.118	20.740	FeI	5090.78	137.013	0.143	14.857
FeI	4788.76	143.089	0.127	14.460	FeI	5223.19	74.734	0.130	13.578
FeI	4802.88	117.646	0.135	19.442	FeI	5242.50	134.489	0.153	17.988
FeI	4808.15	71.462	0.129	12.411	FeI	5293.96	73.680	0.133	18.385
FeI	4809.94	57.819	0.118	19.965	FeI	5294.55	58.183	0.135	19.088
FeI	4967.90	117.944	0.135	12.724	FeI	5373.71	105.113	0.138	17.364
FeI	5054.65	94.798	0.133	17.310	FeI	5386.34	49.709	0.118	16.826

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5441.34	83.059	0.141	20.005	FeI	6005.55	129.741	0.141	16.079
FeI	5491.83	57.117	0.145	20.335	FeI	6027.06	119.132	0.133	16.038
FeI	5538.52	101.478	0.149	17.535	FeI	6034.04	51.297	0.143	18.621
FeI	5543.94	100.350	0.132	17.065	FeI	6035.34	40.969	0.138	19.142
FeI	5546.51	104.228	0.145	11.230	FeI	6054.08	39.649	0.121	17.696
FeI	5547.00	145.239	0.140	12.914	FeI	6056.01	108.542	0.127	16.689
FeI	5553.58	146.991	0.138	16.862	FeI	6078.49	109.964	0.145	14.676
FeI	5577.03	23.917	0.151	21.354	FeI	6079.01	83.198	0.147	13.914
FeI	5633.95	111.796	0.143	17.897	FeI	6089.57	103.282	0.142	13.650
FeI	5635.83	78.604	0.141	16.253	FeI	6094.38	59.574	0.140	18.539
FeI	5636.70	69.900	0.149	15.085	FeI	6096.67	71.790	0.119	15.040
FeI	5638.27	124.790	0.137	17.407	FeI	6120.25	118.128	0.134	13.142
FeI	5653.87	65.583	0.125	18.515	FeI	6127.91	116.946	0.144	9.936
FeI	5679.03	77.239	0.147	17.906	FeI	6159.38	65.820	0.124	17.791
FeI	5715.09	124.083	0.133	16.845	FeI	6165.36	95.313	0.122	16.561
FeI	5720.90	53.283	0.132	17.729	FeI	6187.99	108.670	0.144	16.127
FeI	5731.77	95.834	0.120	13.051	FeI	6226.74	86.992	0.127	15.786
FeI	5738.24	67.001	0.143	19.373	FeI	6270.23	147.259	0.127	15.277
FeI	5741.85	74.161	0.128	20.037	FeI	6290.98	127.753	0.157	14.263
FeI	5752.04	105.696	0.147	17.489	FeI	6315.81	99.190	0.134	12.677
FeI	5775.08	116.672	0.162	15.979	FeI	6380.75	140.917	0.140	13.258
FeI	5778.46	94.447	0.137	17.918	FeI	6385.72	43.756	0.113	17.624
FeI	5793.92	87.249	0.144	17.238	FeI	6392.54	107.314	0.117	12.923
FeI	5806.73	99.371	0.142	15.855	FeI	6627.55	88.151	0.129	16.433
FeI	5809.22	133.746	0.145	16.696	FeI	6646.94	102.095	0.140	14.969
FeI	5814.81	74.181	0.144	16.400	FeI	6699.15	43.927	0.122	15.207
FeI	5815.22	52.737	0.140	16.370	FeII	5425.25	44.799	0.147	19.664
FeI	5855.08	49.386	0.141	19.540	FeII	5991.38	49.347	0.133	14.359
FeI	5856.09	121.110	0.195	16.890	FeII	6084.11	49.974	0.176	17.849
FeI	5862.36	107.160	0.142	17.192	FeII	6149.25	30.951	0.110	17.232
FeI	5905.68	99.732	0.142	16.181	FeII	6247.56	74.656	0.170	18.142
FeI	5927.79	73.689	0.128	18.668	FeII	6369.46	26.086	0.110	18.066
FeI	5929.68	78.972	0.128	14.735	FeII	6416.93	55.697	0.136	18.665
FeI	5930.19	130.020	0.135	13.172	FeII	6432.69	55.930	0.127	16.283
FeI	5987.07	128.820	0.144	15.350	FeII	6456.39	70.402	0.138	15.485

HD 188484 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4772.82	179.788	0.125	11.801	FeI	5679.03	67.510	0.138	18.032
FeI	4788.76	115.627	0.110	15.776	FeI	5701.55	161.971	0.139	12.133
FeI	4802.88	78.707	0.109	21.549	FeI	5715.09	118.681	0.126	17.384
FeI	4809.94	59.672	0.110	19.582	FeI	5720.90	49.002	0.130	18.149
FeI	4946.39	170.876	0.140	14.162	FeI	5731.77	75.404	0.112	13.549
FeI	4962.58	74.825	0.137	16.292	FeI	5738.24	46.735	0.119	20.002
FeI	5044.22	185.244	0.139	12.751	FeI	5741.85	66.671	0.130	18.356
FeI	5068.77	176.561	0.139	7.927	FeI	5752.04	68.895	0.122	19.946
FeI	5217.40	133.407	0.123	13.077	FeI	5775.08	77.673	0.129	17.849
FeI	5223.19	105.047	0.145	11.524	FeI	5778.46	90.500	0.126	17.823
FeI	5242.50	104.002	0.127	18.573	FeI	5793.92	64.814	0.130	19.408
FeI	5247.06	192.834	0.130	3.391	FeI	5806.73	73.758	0.124	17.129
FeI	5288.53	120.853	0.143	16.000	FeI	5809.22	104.471	0.130	17.670
FeI	5293.96	83.292	0.133	16.721	FeI	5811.92	29.906	0.107	19.390
FeI	5295.32	58.739	0.125	15.379	FeI	5814.81	83.832	0.140	15.547
FeI	5373.71	110.566	0.135	16.850	FeI	5815.22	62.778	0.145	15.654
FeI	5379.58	92.110	0.114	20.209	FeI	5827.88	52.811	0.103	19.388
FeI	5386.34	57.130	0.108	16.374	FeI	5853.15	78.386	0.123	14.313
FeI	5389.48	117.757	0.131	9.924	FeI	5856.09	69.858	0.145	18.361
FeI	5398.28	101.589	0.147	15.285	FeI	5862.36	98.693	0.140	15.206
FeI	5441.34	73.662	0.138	20.060	FeI	5902.48	52.831	0.120	16.577
FeI	5461.55	84.458	0.131	18.774	FeI	5905.68	79.128	0.138	15.752
FeI	5491.83	47.846	0.139	19.749	FeI	5916.26	125.551	0.127	13.482
FeI	5538.52	88.986	0.136	16.170	FeI	5927.79	74.755	0.118	18.856
FeI	5543.94	88.537	0.124	17.611	FeI	5929.68	66.359	0.129	14.665
FeI	5546.51	97.840	0.142	12.066	FeI	5930.19	95.421	0.123	14.630
FeI	5547.00	149.792	0.135	13.946	FeI	5983.69	68.134	0.120	15.412
FeI	5553.58	135.692	0.132	15.800	FeI	5987.07	85.758	0.131	17.851
FeI	5560.22	72.122	0.125	15.434	FeI	6005.55	98.003	0.128	16.318
FeI	5577.03	26.447	0.142	19.684	FeI	6024.06	120.636	0.130	15.923
FeI	5619.60	76.672	0.127	14.993	FeI	6027.06	96.400	0.122	16.744
FeI	5633.95	96.852	0.136	17.882	FeI	6035.34	23.745	0.132	21.032
FeI	5635.83	81.396	0.142	14.570	FeI	6054.08	33.698	0.117	18.727
FeI	5636.70	65.538	0.135	14.134	FeI	6056.01	78.941	0.114	16.685
FeI	5638.27	105.543	0.128	15.909	FeI	6078.49	80.545	0.128	16.398
FeI	5641.44	101.071	0.131	12.504	FeI	6079.01	59.834	0.127	15.801
FeI	5649.99	47.354	0.115	16.218	FeI	6082.72	145.778	0.143	14.074
FeI	5653.87	71.833	0.128	19.432	FeI	6089.57	87.212	0.120	15.681
FeI	5661.35	45.398	0.137	18.321	FeI	6094.38	37.993	0.116	18.604

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	6096.67	66.616	0.117	15.732	FeI	6385.72	25.900	0.098	18.430
FeI	6098.25	45.283	0.117	16.509	FeI	6392.54	91.513	0.114	14.545
FeI	6120.25	116.715	0.123	14.403	FeI	6481.88	146.061	0.124	13.270
FeI	6127.91	85.900	0.121	10.833	FeI	6498.94	186.415	0.128	11.421
FeI	6151.62	143.627	0.123	15.303	FeI	6593.88	172.530	0.132	12.178
FeI	6157.73	128.885	0.131	15.060	FeI	6609.12	155.497	0.131	11.116
FeI	6165.36	72.071	0.120	16.363	FeI	6653.86	31.546	0.141	16.254
FeI	6173.34	148.773	0.140	13.874	FeII	4923.93	143.054	0.142	13.338
FeI	6187.99	96.279	0.145	15.155	FeII	5425.25	25.421	0.102	19.604
FeI	6200.32	126.488	0.127	14.843	FeII	5534.85	76.149	0.144	14.275
FeI	6213.44	158.635	0.137	7.996	FeII	6084.11	27.875	0.144	20.064
FeI	6229.24	109.202	0.141	15.213	FeII	6113.32	18.831	0.142	19.236
FeI	6232.65	113.533	0.131	12.121	FeII	6149.25	37.357	0.139	15.631
FeI	6240.65	146.552	0.138	11.253	FeII	6238.39	28.500	0.145	19.276
FeI	6270.23	107.832	0.115	16.613	FeII	6247.56	32.104	0.136	18.931
FeI	6315.81	82.868	0.134	12.420	FeII	6416.93	54.929	0.144	17.932
FeI	6322.69	137.421	0.127	13.320	FeII	6432.69	40.195	0.135	16.639
FeI	6336.83	134.385	0.129	14.721	FeII	6456.39	32.345	0.109	17.776
FeI	6358.68	203.734	0.127	13.077	FeII	6516.09	90.931	0.145	16.562
FeI	6380.75	88.501	0.121	14.819					

HD 193090 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4788.76	129.698	0.108	14.476	FeI	5217.40	134.743	0.118	14.565
FeI	4794.36	83.429	0.118	18.710	FeI	5223.19	78.258	0.112	13.823
FeI	4799.41	114.458	0.138	12.566	FeI	5228.38	61.408	0.086	16.065
FeI	4802.52	37.129	0.091	18.770	FeI	5242.50	104.597	0.118	19.474
FeI	4802.88	73.072	0.096	19.995	FeI	5243.78	91.908	0.116	15.773
FeI	4809.94	53.996	0.098	18.926	FeI	5253.47	140.649	0.143	12.870
FeI	4811.05	76.397	0.097	14.419	FeI	5288.53	130.679	0.141	15.987
FeI	4905.14	140.702	0.142	15.655	FeI	5293.96	84.281	0.118	17.875
FeI	4961.92	72.344	0.099	16.073	FeI	5294.55	72.465	0.130	17.682
FeI	4962.58	73.330	0.115	17.797	FeI	5295.32	70.409	0.126	14.942
FeI	4967.90	127.568	0.126	11.322	FeI	5373.71	110.925	0.130	17.710
FeI	5067.15	139.057	0.144	10.958	FeI	5379.58	96.400	0.109	20.437
FeI	5074.76	132.067	0.129	15.355	FeI	5386.34	57.464	0.097	16.799
FeI	5187.91	134.419	0.143	13.234	FeI	5389.48	104.550	0.117	11.098

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5398.28	94.312	0.133	15.989	FeI	5905.68	97.294	0.136	15.451
FeI	5406.78	61.284	0.112	13.747	FeI	5927.79	59.559	0.097	18.439
FeI	5441.34	82.609	0.127	19.546	FeI	5929.68	65.192	0.118	15.119
FeI	5461.55	79.870	0.123	19.404	FeI	5930.19	103.169	0.117	15.231
FeI	5466.99	86.547	0.115	15.275	FeI	5934.66	108.832	0.117	13.273
FeI	5473.17	66.056	0.124	12.517	FeI	5983.69	83.040	0.117	15.655
FeI	5491.83	54.987	0.141	19.693	FeI	5987.07	95.912	0.124	16.352
FeI	5522.45	73.650	0.120	19.120	FeI	6005.55	103.179	0.120	16.664
FeI	5538.52	87.447	0.121	15.428	FeI	6024.06	119.863	0.107	15.322
FeI	5543.94	95.831	0.115	18.768	FeI	6027.06	95.494	0.113	18.004
FeI	5546.51	94.122	0.125	12.102	FeI	6034.04	37.421	0.121	19.834
FeI	5553.58	146.778	0.130	15.448	FeI	6035.34	25.356	0.116	21.048
FeI	5560.22	68.617	0.104	15.804	FeI	6054.08	31.684	0.094	18.454
FeI	5577.03	20.847	0.124	21.009	FeI	6078.49	85.059	0.118	16.235
FeI	5633.95	89.716	0.118	18.101	FeI	6079.01	62.467	0.118	16.285
FeI	5636.70	50.316	0.107	15.682	FeI	6082.72	151.202	0.141	13.475
FeI	5638.27	110.454	0.115	15.254	FeI	6089.57	85.169	0.115	15.112
FeI	5641.44	108.551	0.122	11.351	FeI	6094.38	48.092	0.119	18.552
FeI	5649.99	56.587	0.106	15.060	FeI	6096.67	60.162	0.097	15.646
FeI	5653.87	59.225	0.109	18.633	FeI	6098.25	46.565	0.108	16.285
FeI	5661.35	61.785	0.136	16.849	FeI	6120.25	105.685	0.115	14.611
FeI	5679.03	68.595	0.111	17.465	FeI	6127.91	92.104	0.117	10.731
FeI	5715.09	119.372	0.118	16.855	FeI	6151.62	137.022	0.115	15.758
FeI	5720.90	44.168	0.108	18.971	FeI	6157.73	125.562	0.121	15.511
FeI	5738.24	63.684	0.124	19.250	FeI	6159.38	56.311	0.112	17.052
FeI	5741.85	68.307	0.116	19.151	FeI	6165.36	75.388	0.112	16.461
FeI	5752.04	87.648	0.127	19.682	FeI	6173.34	143.513	0.134	14.639
FeI	5775.08	87.848	0.124	17.973	FeI	6180.21	137.509	0.139	13.992
FeI	5778.46	93.801	0.124	17.525	FeI	6187.99	95.406	0.133	15.907
FeI	5793.92	72.079	0.129	18.290	FeI	6200.32	130.291	0.121	15.512
FeI	5806.73	81.666	0.116	16.611	FeI	6226.74	64.406	0.108	16.409
FeI	5809.22	116.021	0.130	16.000	FeI	6229.24	112.712	0.141	15.983
FeI	5811.92	37.001	0.108	19.876	FeI	6232.65	127.420	0.124	11.443
FeI	5814.81	68.682	0.123	17.101	FeI	6240.65	140.550	0.127	10.514
FeI	5815.22	48.133	0.119	16.684	FeI	6270.23	110.783	0.112	17.131
FeI	5827.88	63.208	0.112	19.251	FeI	6290.98	105.984	0.141	14.725
FeI	5852.22	148.689	0.141	12.908	FeI	6315.81	82.128	0.116	14.006
FeI	5855.08	49.708	0.127	20.668	FeI	6322.69	149.898	0.126	13.263
FeI	5862.36	101.193	0.130	15.745	FeI	6336.83	147.883	0.130	15.260

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	6380.75	87.398	0.118	14.499	FeII	5534.85	62.908	0.126	14.741
FeI	6385.72	29.952	0.102	17.765	FeII	6084.11	28.240	0.144	19.049
FeI	6392.54	82.745	0.107	14.485	FeII	6149.25	47.773	0.141	14.871
FeI	6627.55	54.294	0.107	18.102	FeII	6238.39	45.557	0.150	18.076
FeI	6646.94	73.447	0.130	17.558	FeII	6247.56	37.641	0.142	19.074
FeI	6653.86	31.899	0.127	16.294	FeII	6416.93	58.054	0.152	18.936
FeII	4923.93	121.918	0.117	14.280	FeII	6432.69	55.287	0.147	18.031
FeII	5425.25	30.850	0.108	20.044	FeII	6456.39	32.660	0.101	18.768
FeII	5525.12	48.256	0.142	15.487	FeII	6516.09	56.656	0.133	16.744

HD 196345 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	57.611	0.096	19.069	FeI	5386.34	67.489	0.093	16.726
FeI	4787.83	143.449	0.126	16.377	FeI	5389.48	110.830	0.105	11.308
FeI	4788.76	130.243	0.095	16.647	FeI	5398.28	121.032	0.139	14.405
FeI	4794.36	78.246	0.102	18.557	FeI	5417.04	71.032	0.109	20.975
FeI	4799.41	94.626	0.111	13.357	FeI	5441.34	78.413	0.111	20.247
FeI	4802.52	49.447	0.096	17.982	FeI	5461.55	77.034	0.109	21.293
FeI	4802.88	99.958	0.103	19.082	FeI	5466.99	91.775	0.103	17.488
FeI	4808.15	65.901	0.088	12.625	FeI	5473.17	68.008	0.111	12.336
FeI	4809.94	66.150	0.094	18.509	FeI	5491.83	56.271	0.129	21.516
FeI	4811.05	99.008	0.104	11.379	FeI	5522.45	84.847	0.112	19.538
FeI	4905.14	119.034	0.116	18.353	FeI	5538.52	81.183	0.104	17.950
FeI	4952.65	103.247	0.113	13.012	FeI	5543.94	95.101	0.104	19.332
FeI	4961.92	77.385	0.096	15.622	FeI	5546.51	103.818	0.115	11.923
FeI	4962.58	87.351	0.105	17.452	FeI	5547.00	141.221	0.116	13.507
FeI	4967.90	127.200	0.109	12.377	FeI	5553.58	144.018	0.118	17.644
FeI	5067.15	131.006	0.119	12.035	FeI	5560.22	73.773	0.093	17.184
FeI	5223.19	72.098	0.098	13.781	FeI	5577.03	31.600	0.123	19.366
FeI	5242.50	121.495	0.115	17.700	FeI	5618.64	81.122	0.105	16.406
FeI	5243.78	115.184	0.122	14.058	FeI	5619.60	82.833	0.109	14.966
FeI	5288.53	124.521	0.123	15.921	FeI	5633.95	96.765	0.108	17.514
FeI	5293.96	82.257	0.110	17.961	FeI	5635.83	76.428	0.106	16.705
FeI	5294.55	59.272	0.112	18.893	FeI	5636.70	62.367	0.100	14.967
FeI	5295.32	59.192	0.098	16.345	FeI	5638.27	127.311	0.110	16.613
FeI	5373.71	110.392	0.117	17.220	FeI	5641.44	121.238	0.113	10.059
FeI	5379.58	108.952	0.106	18.251	FeI	5649.99	60.454	0.104	14.424

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5651.47	47.249	0.095	20.872	FeI	6078.49	102.311	0.116	15.459
FeI	5652.32	54.585	0.089	20.693	FeI	6079.01	74.529	0.116	15.615
FeI	5653.87	68.928	0.100	18.052	FeI	6082.72	136.972	0.124	13.495
FeI	5662.52	143.962	0.139	9.221	FeI	6089.57	90.033	0.111	15.009
FeI	5667.52	133.566	0.142	13.031	FeI	6094.38	53.278	0.110	19.121
FeI	5679.03	76.258	0.108	17.158	FeI	6096.67	69.320	0.095	15.614
FeI	5715.09	126.243	0.110	16.177	FeI	6120.25	88.169	0.101	14.796
FeI	5720.90	56.658	0.109	17.710	FeI	6127.91	103.174	0.112	11.799
FeI	5731.77	104.414	0.107	12.914	FeI	6151.62	130.045	0.106	17.133
FeI	5741.85	76.127	0.111	17.857	FeI	6157.73	133.822	0.120	14.618
FeI	5752.04	82.173	0.104	17.941	FeI	6159.38	54.111	0.106	18.039
FeI	5775.08	96.215	0.113	17.850	FeI	6165.36	83.377	0.102	17.081
FeI	5778.46	95.065	0.115	18.329	FeI	6180.21	143.342	0.136	14.270
FeI	5793.92	72.472	0.106	18.674	FeI	6187.99	92.369	0.112	17.270
FeI	5806.73	91.556	0.107	15.673	FeI	6200.32	144.889	0.117	14.584
FeI	5809.22	116.306	0.113	17.104	FeI	6220.79	77.194	0.126	10.659
FeI	5811.92	40.912	0.096	18.707	FeI	6226.74	75.075	0.104	16.840
FeI	5814.81	64.457	0.102	17.380	FeI	6229.24	116.488	0.118	16.252
FeI	5815.22	49.862	0.104	15.702	FeI	6232.65	142.960	0.118	11.445
FeI	5827.88	68.529	0.106	17.614	FeI	6240.65	139.167	0.114	11.532
FeI	5853.15	82.217	0.119	13.878	FeI	6270.23	122.255	0.108	17.196
FeI	5855.08	51.685	0.117	19.666	FeI	6290.98	120.701	0.139	14.437
FeI	5856.09	94.522	0.153	17.566	FeI	6315.81	100.191	0.123	12.505
FeI	5862.36	117.686	0.126	16.360	FeI	6380.75	109.337	0.120	15.572
FeI	5905.68	93.536	0.110	16.303	FeI	6385.72	37.014	0.097	18.822
FeI	5916.26	136.156	0.113	13.043	FeI	6392.54	89.439	0.105	14.465
FeI	5927.79	70.762	0.096	19.749	FeI	6481.88	150.020	0.120	14.327
FeI	5929.68	69.721	0.098	15.067	FeI	6581.21	125.293	0.122	13.362
FeI	5930.19	126.958	0.112	14.490	FeI	6627.55	69.423	0.117	16.890
FeI	5934.66	119.328	0.110	13.171	FeI	6646.94	79.265	0.131	17.167
FeI	5983.69	97.426	0.110	15.492	FeI	6653.86	28.780	0.103	17.059
FeI	5987.07	107.773	0.120	16.147	FeI	6699.15	36.110	0.121	16.681
FeI	6005.55	101.546	0.109	16.157	FeII	4923.93	133.203	0.109	14.883
FeI	6024.06	136.071	0.116	15.141	FeII	5197.57	112.936	0.125	11.328
FeI	6027.06	101.522	0.103	17.330	FeII	5234.63	71.282	0.117	13.826
FeI	6034.04	49.256	0.128	18.777	FeII	5256.94	64.628	0.140	17.504
FeI	6035.34	33.072	0.102	20.587	FeII	5264.81	52.297	0.109	10.412
FeI	6054.08	34.100	0.092	17.813	FeII	5284.11	88.459	0.118	8.219
FeI	6056.01	98.948	0.101	17.355	FeII	5425.25	37.336	0.094	19.569

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeII	5525.12	35.491	0.130	16.691	FeII	6247.56	45.164	0.111	18.277
FeII	5991.38	49.064	0.115	14.839	FeII	6369.46	26.091	0.103	19.219
FeII	6084.11	37.719	0.137	18.576	FeII	6416.93	48.802	0.115	18.020
FeII	6113.32	23.381	0.122	18.803	FeII	6432.69	48.209	0.115	17.247
FeII	6149.25	37.001	0.106	16.503	FeII	6456.39	43.066	0.107	18.106
FeII	6238.39	72.479	0.164	17.769	FeII	6516.09	57.992	0.108	17.101

HD 204603 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4780.81	37.949	0.088	22.453	FeI	5288.53	108.950	0.130	18.621
FeI	4787.83	100.559	0.114	21.065	FeI	5293.96	82.795	0.121	19.377
FeI	4793.97	48.332	0.121	20.315	FeI	5294.55	49.604	0.118	20.037
FeI	4794.36	58.639	0.111	20.425	FeI	5295.32	52.771	0.106	18.706
FeI	4799.41	75.521	0.107	14.910	FeI	5373.71	88.553	0.115	20.137
FeI	4802.52	37.334	0.100	20.175	FeI	5379.58	101.178	0.112	19.498
FeI	4802.88	89.448	0.111	20.815	FeI	5386.34	57.724	0.100	18.779
FeI	4808.15	63.999	0.098	13.862	FeI	5389.48	94.403	0.108	14.620
FeI	4809.94	49.943	0.095	22.535	FeI	5398.28	93.594	0.136	17.605
FeI	4811.05	62.034	0.108	15.977	FeI	5406.78	54.024	0.115	15.589
FeI	4905.14	102.139	0.127	20.190	FeI	5409.14	129.393	0.145	12.791
FeI	4946.39	147.822	0.126	17.427	FeI	5417.04	62.364	0.115	21.893
FeI	4961.92	59.854	0.096	18.389	FeI	5441.34	68.556	0.120	20.793
FeI	4962.58	77.598	0.102	19.892	FeI	5461.55	57.936	0.114	22.266
FeI	4967.90	108.421	0.110	15.069	FeI	5466.99	84.843	0.115	18.263
FeI	5054.65	72.098	0.103	21.238	FeI	5491.83	49.113	0.143	21.105
FeI	5067.15	118.196	0.122	16.527	FeI	5522.45	77.251	0.118	19.975
FeI	5074.76	131.052	0.135	16.840	FeI	5538.52	68.682	0.111	18.894
FeI	5088.15	70.120	0.121	17.224	FeI	5543.94	93.354	0.114	18.334
FeI	5090.78	129.412	0.134	16.185	FeI	5546.51	100.329	0.125	14.829
FeI	5143.73	107.517	0.134	17.944	FeI	5547.00	95.032	0.118	16.620
FeI	5187.91	105.698	0.126	16.629	FeI	5560.22	72.889	0.108	18.663
FeI	5196.06	120.553	0.130	11.095	FeI	5567.40	130.189	0.139	14.364
FeI	5217.40	139.293	0.115	15.117	FeI	5584.77	97.611	0.141	16.529
FeI	5223.19	59.821	0.103	16.288	FeI	5618.64	69.192	0.101	18.257
FeI	5242.50	111.673	0.126	18.262	FeI	5619.60	59.051	0.107	17.898
FeI	5243.78	96.580	0.128	16.591	FeI	5633.95	94.882	0.119	17.259
FeI	5253.02	77.299	0.123	16.018	FeI	5635.83	65.695	0.108	18.114
FeI	5253.47	135.830	0.145	14.693	FeI	5636.70	54.579	0.109	16.159

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5638.27	110.859	0.116	17.189	FeI	6027.06	93.714	0.107	17.909
FeI	5641.44	107.173	0.117	12.670	FeI	6035.34	25.230	0.110	21.126
FeI	5649.99	52.797	0.099	16.334	FeI	6054.08	26.166	0.089	18.925
FeI	5651.47	47.003	0.107	21.540	FeI	6056.01	93.513	0.106	17.597
FeI	5652.32	54.050	0.101	20.365	FeI	6078.49	100.063	0.124	15.103
FeI	5653.87	66.580	0.105	19.232	FeI	6079.01	77.717	0.131	15.677
FeI	5667.52	114.972	0.143	14.126	FeI	6089.57	72.460	0.113	16.646
FeI	5679.03	71.066	0.117	18.660	FeI	6094.38	47.980	0.115	20.111
FeI	5701.55	139.644	0.124	14.382	FeI	6096.67	68.685	0.106	17.486
FeI	5715.09	111.845	0.119	16.602	FeI	6098.25	45.497	0.107	18.206
FeI	5720.90	47.501	0.115	19.426	FeI	6120.25	66.698	0.106	16.804
FeI	5731.77	100.733	0.114	14.302	FeI	6127.91	89.591	0.111	14.997
FeI	5741.85	68.669	0.119	20.089	FeI	6151.62	116.265	0.109	16.359
FeI	5752.04	81.239	0.115	19.127	FeI	6157.73	123.937	0.123	15.237
FeI	5775.08	94.209	0.127	17.658	FeI	6165.36	79.150	0.104	17.357
FeI	5778.46	82.335	0.128	18.160	FeI	6173.34	139.954	0.138	16.996
FeI	5793.92	67.887	0.117	19.518	FeI	6180.21	130.147	0.140	15.031
FeI	5806.73	81.202	0.111	17.728	FeI	6187.99	86.582	0.119	17.443
FeI	5809.22	102.788	0.117	18.525	FeI	6200.32	124.299	0.115	16.505
FeI	5811.92	34.111	0.104	20.716	FeI	6226.74	73.568	0.110	17.481
FeI	5814.81	52.975	0.107	18.308	FeI	6229.24	104.363	0.118	17.077
FeI	5815.22	28.430	0.093	17.765	FeI	6232.65	130.588	0.118	12.975
FeI	5827.88	53.053	0.104	19.780	FeI	6240.65	120.445	0.111	12.472
FeI	5852.22	91.371	0.142	16.352	FeI	6270.23	113.811	0.111	16.553
FeI	5853.15	55.771	0.118	15.713	FeI	6290.98	107.570	0.132	14.896
FeI	5855.08	50.662	0.137	21.168	FeI	6297.80	132.847	0.121	14.978
FeI	5856.09	83.285	0.150	18.746	FeI	6315.81	78.784	0.113	13.852
FeI	5862.36	105.943	0.131	17.765	FeI	6322.69	138.722	0.119	14.545
FeI	5902.48	37.692	0.107	19.755	FeI	6380.75	106.677	0.124	16.680
FeI	5905.68	90.089	0.116	17.354	FeI	6392.54	83.355	0.111	14.864
FeI	5916.26	112.152	0.114	15.235	FeI	6481.88	137.940	0.114	16.227
FeI	5927.79	61.801	0.100	19.438	FeI	6498.94	141.468	0.120	12.850
FeI	5929.68	68.377	0.103	16.327	FeI	6581.21	108.023	0.121	14.573
FeI	5930.19	109.439	0.112	15.305	FeI	6608.03	89.158	0.119	16.245
FeI	5934.66	112.739	0.117	17.052	FeI	6609.12	148.354	0.129	11.959
FeI	5956.70	139.071	0.133	15.661	FeI	6627.55	63.123	0.116	17.708
FeI	5984.82	136.994	0.144	13.531	FeI	6699.15	30.494	0.115	17.243
FeI	5987.07	105.695	0.121	17.154	FeII	5197.57	100.808	0.130	13.287
FeI	6005.55	87.053	0.112	17.742	FeII	5234.63	71.909	0.122	14.764
FeI	6024.06	132.377	0.117	15.838	FeII	5256.94	51.490	0.141	22.308

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeII	5264.81	36.146	0.098	13.751	FeII	6149.25	34.271	0.097	18.006
FeII	5284.11	83.831	0.125	9.543	FeII	6238.39	73.118	0.146	18.307
FeII	5414.07	39.525	0.121	18.709	FeII	6247.56	63.227	0.118	17.631
FeII	5425.25	51.400	0.120	20.225	FeII	6369.46	24.263	0.088	18.224
FeII	5991.38	42.574	0.110	15.764	FeII	6416.93	54.734	0.122	18.668
FeII	6084.11	41.416	0.131	18.896	FeII	6432.69	55.517	0.110	18.369
FeII	6113.32	31.297	0.137	18.450	FeII	6456.39	69.820	0.118	17.004

HD 215705 yıldızının EW ölçümleri

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	4799.41	78.508	0.122	14.822	FeI	5633.95	94.029	0.131	19.655
FeI	4802.52	43.131	0.128	18.483	FeI	5635.83	68.387	0.137	17.204
FeI	4802.88	92.029	0.132	19.764	FeI	5636.70	44.081	0.121	16.527
FeI	4808.15	41.113	0.089	14.662	FeI	5638.27	100.403	0.121	17.022
FeI	4809.94	54.013	0.115	20.120	FeI	5641.44	90.524	0.127	12.872
FeI	4811.05	72.105	0.108	14.359	FeI	5651.47	36.233	0.097	20.336
FeI	4967.90	129.532	0.141	11.642	FeI	5653.87	59.898	0.113	17.898
FeI	5217.40	140.691	0.134	12.275	FeI	5667.52	114.897	0.148	14.285
FeI	5223.19	71.719	0.127	13.692	FeI	5679.03	70.529	0.136	18.412
FeI	5242.50	100.759	0.124	18.172	FeI	5701.55	147.202	0.136	13.608
FeI	5253.47	132.599	0.142	11.953	FeI	5715.09	116.385	0.129	17.063
FeI	5293.96	61.837	0.118	18.466	FeI	5720.90	44.585	0.118	18.271
FeI	5295.32	41.344	0.114	16.991	FeI	5731.77	77.930	0.114	14.096
FeI	5373.71	107.655	0.136	17.358	FeI	5738.24	62.289	0.165	19.947
FeI	5379.58	96.867	0.119	19.163	FeI	5741.85	53.709	0.105	20.349
FeI	5386.34	44.679	0.089	17.805	FeI	5752.04	67.313	0.110	19.063
FeI	5441.34	64.096	0.126	21.614	FeI	5775.08	81.051	0.131	17.738
FeI	5461.55	72.786	0.135	19.780	FeI	5778.46	83.043	0.127	18.323
FeI	5491.83	49.028	0.143	20.548	FeI	5793.92	65.376	0.126	18.467
FeI	5522.45	73.141	0.132	19.749	FeI	5806.73	83.108	0.128	17.384
FeI	5538.52	78.688	0.134	17.615	FeI	5809.22	112.018	0.134	17.363
FeI	5543.94	82.666	0.121	18.883	FeI	5814.81	66.632	0.135	16.880
FeI	5546.51	95.240	0.137	12.263	FeI	5815.22	42.188	0.127	16.571
FeI	5547.00	138.666	0.132	14.011	FeI	5855.08	42.546	0.128	19.420
FeI	5553.58	118.798	0.122	16.983	FeI	5862.36	97.177	0.137	16.441
FeI	5560.22	74.984	0.121	16.689	FeI	5927.79	55.330	0.104	18.728
FeI	5618.64	79.030	0.134	18.247	FeI	5929.68	59.926	0.114	15.151
FeI	5619.60	74.899	0.127	15.861	FeI	5930.19	105.124	0.121	15.193

Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2	Element	Dalgaboyu (λ)	EW (mÅ)	σ	χ^2
FeI	5983.69	78.804	0.123	16.584	FeI	6270.23	111.429	0.115	16.647
FeI	6005.55	96.062	0.124	17.377	FeI	6290.98	106.233	0.143	13.215
FeI	6024.06	128.042	0.130	15.344	FeI	6315.81	78.556	0.121	12.911
FeI	6027.06	95.836	0.119	17.865	FeI	6322.69	140.032	0.121	14.406
FeI	6034.04	40.234	0.129	19.848	FeI	6336.83	148.093	0.133	14.337
FeI	6035.34	26.384	0.121	21.019	FeI	6380.75	86.818	0.117	15.613
FeI	6054.08	26.819	0.096	18.741	FeI	6385.72	31.443	0.102	18.906
FeI	6056.01	80.419	0.104	17.503	FeI	6392.54	81.668	0.107	14.738
FeI	6078.49	91.532	0.132	15.045	FeI	6627.55	62.558	0.112	17.179
FeI	6079.01	63.756	0.126	15.813	FeI	6646.94	77.860	0.141	16.198
FeI	6082.72	142.127	0.142	13.302	FeI	6653.86	29.257	0.127	18.446
FeI	6089.57	86.045	0.125	16.103	FeI	6699.15	22.912	0.100	15.366
FeI	6094.38	45.372	0.122	18.535	FeII	4923.93	107.261	0.132	16.731
FeI	6096.67	67.320	0.118	15.190	FeII	5256.94	63.872	0.151	18.737
FeI	6098.25	53.191	0.125	16.829	FeII	5425.25	27.400	0.109	19.101
FeI	6120.25	93.743	0.120	13.608	FeII	5525.12	31.345	0.141	18.093
FeI	6151.62	134.624	0.120	17.006	FeII	5534.85	70.233	0.139	14.502
FeI	6157.73	134.602	0.132	14.208	FeII	5991.38	39.383	0.145	14.679
FeI	6159.38	47.493	0.104	16.715	FeII	6084.11	29.655	0.154	20.764
FeI	6165.36	73.638	0.114	18.115	FeII	6113.32	23.253	0.149	18.900
FeI	6173.34	147.397	0.139	14.227	FeII	6149.25	42.745	0.135	16.148
FeI	6180.21	126.064	0.141	14.608	FeII	6238.39	43.403	0.136	18.203
FeI	6187.99	88.975	0.142	16.562	FeII	6247.56	42.772	0.147	18.852
FeI	6200.32	118.658	0.120	15.292	FeII	6416.93	53.134	0.139	17.983
FeI	6226.74	59.884	0.105	16.501	FeII	6432.69	44.860	0.132	17.563
FeI	6229.24	120.493	0.145	15.428	FeII	6456.39	38.533	0.112	17.724
FeI	6232.65	132.291	0.131	11.042	FeII	6516.09	81.932	0.128	13.553
FeI	6240.65	143.027	0.131	11.213					