

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

A-TAYF TÜRÜNDEN HD 58552 YILDIZININ KİMYASAL BOLLUK
ANALİZİ

Şengül YALGIN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

A-TAYF TÜRÜNDEN HD 58552 YILDIZININ KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ

Şengül YALGIN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aşlı ELMASLI AKÇAR

Bu tez çalışmasında, A-tayf türü HD 58552 yıldızının yüksek çözünürlüklü tayfsal verisine kimyasal bolluk analizi yapıldı. Literatürde bu yıldızın ayrıntılı bir tayfsal çalışması bulunmamaktadır. HD 58552 yıldızının tayfında gözlenen elementlerin bolluk değerleri hesaplanarak Güneş'e göre dağılımları incelendi. TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde yer alan 1.5 m çaplı teleskoba bağlı Coude tayfçekeriyle yıldızın tayfı elde edildi. 3900-8000 Å dalgaboyu aralığını kapsayan tayfin gözlemsel verileri IRAF programı kullanılarak indirildi. ATLAS9 kodu yardımıyla atmosfer modelleri üretildi. Yıldıza yönelik çizgi listesi Vienna Atomic Line Database'inden derlendi. Çizgi listesiyle oluşturulan sentetik tayflar BINMAG programına uyarlanarak önce HD 58552 yıldızının gözlemsel tayfında görünen tüm soğurma çizgilerinin merkezi dalgaboyu değerleri belirlendi ve ardından bu çizgilerin eşdeğer genişlikleri ölçüldü. Fotometrik kalibrasyonlar yardımıyla hesaplanan atmosfer parametrelerini denetlemek için sentetik hidrojen Balmer çizgi profilleri yıldızın gözlemsel verisiyle karşılaştırıldı. Tayfsal veriye uygulanan analizler sonucunda HD 58552 yıldızının atmosfer parametreleri; $T_{\text{eff}} = 9000 \pm 150$ K, $\log g = 4.4 \pm 0.1$ dex ve $\xi = 3.2 \pm 0.5$ kms⁻¹ olarak belirlendi. Yıldızın dönme hızı ise 16 ± 2 kms⁻¹ olarak ölçüldü. Tüm atomik türler için ölçülen eşdeğer genişlik değerlerini WIDTH9 programına uyarlayarak C, O, Na, Mg, Si, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr, Y ve Ba elementlerinin bollukları hesaplandı. HD 58552 yıldızının bolluk dağılımının kimyasal tuhaf A türünden metalik çizgili sınıfı ile uyum gösterdiği belirlendi. Tayfsal olarak hesaplanan etkin sıcaklık değeriyle H-R diyagramı üzerine HD 58552 yıldızı konumlandırıldı. Bu anakol yıldızının evrim yolları ve izonkronlarını da yerleştirerek kütlesi $2.06 \pm 0.09 M_{\odot}$ ve yaşı 400 ± 80 milyon yıl olarak hesaplandı. MTGR bağıntısından hesaplanan kütlenin H-R diyagramında elde edilen sonuç ile uyumlu olduğu belirlendi.

Haziran 2023, 76 sayfa

Anahtar Kelimeler: HD 58552 – A-tayf türü – atmosfer parametreleri – kimyasal bolluk analizi – kimyasal tuhaf yıldızlar – Am yıldızları

ABSTRACT

Master Thesis

CHEMICAL ABUNDANCE ANALYSIS OF THE A-TYPE STAR HD 58552

Şengül YALGIN

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

Supervisor: Doç. Dr. Aşlı ELMASLI AKÇAR

In this thesis study, chemical abundance analysis was performed to the high resolution spectra of the A-type star HD 58552. Detailed abundance analysis of this star is not available in the literature. The abundance values of the observed elements in the spectrum of HD 58552 were calculated and compared to the solar abundances. The spectrum of the star was obtained using the Coude spectrograph attached to the 1.5 m diameter telescope at the TÜBİTAK National Observatory. The observational spectrum, covering a wavelength range of 3900-8000 Å was reduced using the IRAF program. Model atmospheres were generated using the ATLAS9 code. The atomic line list was compiled from the Vienna Atomic Line Database. The synthetic spectra generated using the line list were adapted to the BINMAG program to determine the central wavelengths and measure the equivalent width of all absorption lines. Synthetically produced hydrogen Balmer line profiles were compared with the observational data of the star to verify the atmosphere parameters obtained by using photometric calibrations. The atmosphere parameters of HD 58552 were determined as $T_{eff} = 9000 \pm 150$ K, $\log g = 4.4 \pm 0.1$ dex and $\xi = 3.2 \pm 0.5$ km s⁻¹ by performing analyses to the spectra of the star. The rotational velocity of the star was measured as 16 ± 2 km s⁻¹. The abundances of C, O, Na, Mg, Si, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr, Y and Ba were calculated by adapting the measured equivalent widths to the WIDTH9 program. The abundance distribution of HD 58552 was found to be consistent with the chemical peculiar A-type stars of the metallic-line class. The star was positioned on the H-R diagram using the derived T_{eff} from the spectrum of HD 58552. Evolutionary tracks and isochrones were overlaid on the H-R diagram to estimate the mass of this main sequence star as $2.06 \pm 0.09 M_{\odot}$ and age as 400 ± 80 million years. The mass calculated using the MTGR was found to be consistent with the result obtained above.

June 2023, 76 pages

Key Words: HD 58552 – A-spectral type – atmosphere parameters – chemical abundance analysis – chemically peculiar stars – Am stars

TEŞEKKÜR

Öncelikle, danışman Hocam Doç. Dr. Aslı ELMASLI AKÇAR'a, tez sürecimde bana ayırdığı vakit için teşekkür ederim. Denk gelen yaşamsal aksaklıklarına dair sabır gösterdiği için ayrıca teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını gerçekleştirirken kodları kullanmayı öğrenebilmem adına bana verdiği online destekler için doktora öğrencisi Yahya NASOLO'ya teşekkürümü hiç bir kelime tarif edemez. Arş. Gör. Selçuk YALÇINKAYA, Dr. Ekrem Murat ESMER, Dr. Engin BAHAR ve Dr. Öğr. Üyesi Doğuş ÖZUYAR, Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÖZAVCI gibi, ne zaman Latex konusunda bir sorun yaşasam vakit ayırmayı esirgemeyen hocalara sahip olmam, ne kadar şanslı bir insan olduğumun başka bir ifadesi olsa gerek. Arş. Gör. Selçuk YALÇINKAYA'nın bir araştırma yöntemi konusunda çıkmaza girdiğimde değerli vaktini ayırıp bana yol göstermesine her daim şükran duyacağım. Kendisinden henüz ders alma fırsatı bulamadığım değerli Hocam Doç. Dr. Özgür BAŞTÜRK'ün, en ihtiyaç duyduğum anlarda elinde bir bardak şekerli kahveyle belirebilmesini biliyorum ki sonsuzdan sonra bile unutmayacağım. Özge Kübra ÜNAL'a benimle yaptığı dosya paylaşımlarından dolayı ayrıca teşekkür ederim. Kimya disiplininin gelmiş bir öğrenci olarak, tez çalışmamı gerçekleştirebilecek bir noktaya beni asıl getiren kişiler astronomi ve astrofizik dersleri aldığım hocalarım oldu, bu nedenle Prof. Dr. Selim Osman SELAM, Prof. Dr. Birol GÜROL, Prof. Dr. Sinan Kaan YERLİ, Doç. Dr. Tülün ERGİN, Doç. Dr. Şeyma ÇALIŞKAN TÜRKSOY ve Doç. Dr. Mesut YILMAZ'a çok teşekkür ederim. Katıldığım bütün çalıştaylarda bana destek veren eski ev arkadaşım ve her daim dostum Doç. Dr. Abdullah Onur AKTAŞ'a kocaman teşekkür ediyorum. Kendisinden dersler aldıktan sonra benimle iletişimi hiç koparmayan Doç. Dr. Tülün ERGİN'e, bu süreçte kendimi geliştirmem için sunduğu katkılara minnettarım. Bu yoğun tempomda sundukları manevi katkılarından dolayı değerli dostlarım Alper UYANIK, Evrim SOLMAZ ŞENER ve Arda ŞENER, Turgay NİZAL, Yakup KAYA, Yılmaz KÖKSAL, Yavuz DERLEK, Sami ÇIKRIKÇI, Suat ŞARKIŞLA, merhum Hasan KARKINLI ve Sara BULUT'a, ayrıca canım kardeşlerim Hülya YALGIN BÜLBÜL ve Şenol YALGIN'a kocaman teşekkür ediyorum.

Şengül YALGIN
Ankara, Haziran 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 A-Tayf Türü Yıldızlar	4
2.1.1 Yıldızlarda kimyasal tuhaflık olgusu	8
2.2 Kimyasal Tuhaf Yıldızların Tayflarına Göre Sınıflandırılması	9
2.2.1 CP1	11
2.2.2 CP2	12
2.2.3 CP3	13
2.2.4 CP4	14
2.3 Metalik Çizgili (Am) Yıldız Çalışmaları	14
2.4 HD 58552 Yıldızı	17
2.4.1 HD 58552 yıldızının fotometrik parametreleri	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1 HD 58552 Yıldızının Gözlemsel Verisi ve İndirgeme İşlemleri	20
3.1.1 Görüntü başlıkları	20
3.1.2 Bias ve flat görüntüleri	20
3.1.3 Saçılmış ışık düzeltmesi ve tayfın çıkarılması	21
3.1.4 Dalgaboyu kalibrasyonu	21
3.1.5 Dikine hız ve Doppler düzeltmesi	22
3.1.6 Bilimsel tayfın kozmik ışıklardan temizlenmesi ve normalizasyonu	23
3.2 Atmosfer Modeli, Sentetik Tayflar ve Eşdeğer Genişlik Ölçümü	23
3.3 HD 58552 Yıldızının Atmosfer Parametreleri	25
3.3.1 Fotometrik yöntem	25
3.3.2 Tayfsal yöntem	27
3.3.3 Hidrojen çizgilerinin profilleri	28
3.3.4 Kimyasal bolluk analizi	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
4.1 Fotometrik Yöntemlerle Atmosfer Parametreleri	30
4.2 Tayfsal Yöntemlerle Atmosfer Parametreleri	30
4.2.1 Balmer çizgileri ile ön analiz	31
4.2.2 Mikrotürlülans hızı	35
4.2.3 Etkin sıcaklık	35
4.2.4 Yüzey çekim ivmesi	38

4.3 Hidrojen çizgilerinin profilleri	38
4.4 Dönme Hızı	41
5. KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ	42
6. KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ HATA HESABI	55
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	59
7.1 HD 58552 Yıldızının Kimyasal Bolluk Analizi Sonuçları	59
7.1.1 Hafif element bollukları	59
7.1.2 Kalsiyum ve skandiyum bollukları	59
7.1.3 Demir grubu ve ağır element bollukları	60
7.2 HD 58552 Yıldızının Evrim Durumu	62
7.3 Sonuç	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	75



SİMGELER DİZİNİ

Å	Angström
CADARS	Catalogue of Apparent Diameters and Absolute Radii of Stars
CCD	Yük eşlenimli cihaz (ing. Charge-Coupled Device)
CP	Kimyasal tuhaf (ing. Chemical Peculiar)
E(B-V)	Kızarma (renk artığı)
EW	Eşdeğer genişlik
hfs	Aşırı ince yapı bölünmesi (ing. hyperfine splitting)
H α	Hidrojen alfa
H β	Hidrojen beta
IDL	Interactive Data Language
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility
K	Kelvin
kG	Kilo Gauss
LAMOST	Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
LAMOST DR5	LAMOST veri sürümü 5
$L_{\odot}$	Güneş'in ışıması gücü
$\log g$	Yüzey çekim ivmesi
$M_{\odot}$	Güneş'in kütlesi (1.99×10^{33} gr)
MK	Morgan-Keenan sistemi
MTGR	Mass- Effective Temperature-Surface Gravity Relation
M_v	Mutlak parlaklık
m_v	Görünen parlaklık
Myıl	Milyon yıl
$M_{\star}$	Yıldız Kütlesi
N	Newton
NGC	New General Kataloğu
LTE	Yerel termodinamik denge
non-LTE	Yerel termodinamik denge durumunda olmama
nm	Nanometre, 10^{-9}
pc	Parsek
P_e	Elektron basıncı
pm	Pikometre, 10^{-12}
R	Çözünürlük
S/N	Sinyal/gürültü
T	Sıcaklık
T_{et}	Etkin sıcaklık
T_{eff}	Effective temperature
V_r	Dikine hız
vsini	Yıldızın dönme hızı
VALD	Vienn Atomic Line Database
ZAMS	Zero Age Main Sequence
λ	Dalgaboyu
ξ	Mikrotürbülans
λ_{gz}	Gözlenen dalgaboyu
λ_{lab}	Laboratuvar dalgaboyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Saha denkleminde göre iyonlaşmış hidrojenin (n_{11}) nötr ve iyonlaşmış ($n_{toplama}$) hidrojene oranının yıldız sıcaklığı ile ilişkisi	2
Şekil 1.2	A tayf türü ve Am tayf türü yıldızların güneşe göre element bolluk dağılımı	3
Şekil 2.1	Farklı tayf türünden anakol yıldızlarının hidrojen Balmer çizgileri ve Balmer düşmeleri	5
Şekil 2.2	HD 78366 ($T_{et}=5900$ K) ve HD 101501 ($T_{et}=5535$ K) cüce yıldızlarının Ca II H ve K çizgilerinin tayfı	6
Şekil 2.3	HD 101065 yıldızının ($T_{et}=6500$ K) 4378-4418 Å bölgesine ait sentetik ve gözlemsel tayfı	7
Şekil 2.4	HD 101065 yıldızının ($T_{et}=6500$ K) 6180-6222 Å bölgesine ait gözlemsel ve sentetik tayfı	7
Şekil 2.5	LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen metalik çizgili yıldızların galaktik koordinat düzlemindeki mekânsal dağılımı	15
Şekil 2.6	LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen metalik çizgili yıldızların metalisitesi. Erken tip yıldızların ve Am yıldızlarının metal bolluğunun dağılımı	15
Şekil 2.7	LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen metalik çizgili yıldızların etkin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Am yıldızlarının dağılımı ve görülme sıklığı	16
Şekil 3.1	HD 58552 yıldızının 5.tayfsal sırasındaki Th-Ar dalgaboyu kalibrasyonuna yönelik bir örneği	22
Şekil 3.2	HD 58552 yıldızının normalizasyonu yapılmış 52. tayfsal sırası	24
Şekil 3.3	HD 58552 yıldızının 41. tayfsal sıranın normalizasyonu	24
Şekil 3.4	BINMAG program ile çizgi tanısı ve eşdeğer genişlik ölçümü	25
Şekil 3.5	BINMAG program ile çizgi tanısı ve eşdeğer genişlik ölçümü	26
Şekil 4.1	$\log g=4.2$ değerini sabit tutarak, 8250 K'den 9750 K'e kadar değişen farklı T_{et} değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\beta$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\beta$ çizgi profili ile karşılaştırması	32
Şekil 4.2	$H\beta$ çizgi profilinin sol kanadı	33
Şekil 4.3	T_{et} değerini sabit tutarak, 4.0'dan 4.6'ya kadar değişen farklı $\log g$ değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\beta$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\beta$ çizgi profili ile karşılaştırması	33
Şekil 4.4	$H\beta$ çizgi profilinin sol kanadı	34
Şekil 4.5	$\log g=4.2$ değerini sabit tutarak, 8250 K'den 9750 K'e kadar değişen farklı T_{et} değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\alpha$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\alpha$ çizgi profili ile karşılaştırması	34
Şekil 4.6	$H\alpha$ çizgi profilinin sağ kanadı	35
Şekil 4.7	T_{et} değerini sabit tutarak, 4.0'dan 4.6'ya kadar değişen farklı $\log g$ değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\alpha$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\alpha$ çizgi profili ile karşılaştırması	36
Şekil 4.8	$H\alpha$ çizgi profilinin sağ kanadı	36

Şekil 4.9	HD 58552'nin mikrotürbülans hızının elde edildiği eşdeğer genişliğe (EW) karşı bolluk $\log(\text{Fe I})$ grafiği	37
Şekil 4.10	Uyartılma potansiyeline karşı demir bolluğu grafiği	37
Şekil 4.11	Fe I/Fe II iyonizasyon dengesi ile $\log g$ belirlenmesi	38
Şekil 4.12	HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\alpha$ profili karşılaştırması	39
Şekil 4.13	HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\alpha$ profili karşılaştırması	39
Şekil 4.14	HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\beta$ profili karşılaştırması	40
Şekil 4.15	HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\beta$ profili karşılaştırması	40
Şekil 4.16	HD 58552 yıldızının vsini değerinin Binmag programında gösterimi . . .	41
Şekil 5.1	Mn elementinin 4754.04 Å çizgisinin sentetik tayf ile karşılaştırması	43
Şekil 5.2	Sc elementinin 4246.82 Å çizgisinin sentetik tayf ile karşılaştırması ve Güneş bolluğu ile karşılaştırması	43
Şekil 5.3	Sc elementinin 5657.90 Å çizgisinin sentetik tayf ile karşılaştırması ve Güneş bolluğu ile karşılaştırması	44
Şekil 5.4	HD 58552 yıldızının Güneş'e göre bolluk değerleri	44
Şekil 6.1	HD 58552'nin Güneş'e göre bolluk değerleri	56
Şekil 7.1	HD 58552 yıldızının Güneş'e göre element bolluklarının HD 318091 yıldızı ile karşılaştırması	61
Şekil 7.2	HD 58552 yıldızının Güneş'e göre element bolluklarının HD 33266 yıldızı ile karşılaştırması	61
Şekil 7.3	HD 58552 yıldızının Güneş'e göre element bolluklarının HR 7250 yıldızı ile karşılaştırması	62
Şekil 7.4	HD 58552 yıldızının H-R diyagramı üzerindeki konumu	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Kimyasal tuhaf yıldızların Preston sınıflaması	11
Çizelge 2.2	CP yıldızlarının ortalama tayf türüne göre tayfsal karakteristiği . . .	13
Çizelge 2.3	HD 58552 yıldızının farklı kaynaklardan alınan fotometrik parametreleri	18
Çizelge 2.4	HD 58552 yıldızının TempLogG Strömgren parametreleri ile elde edilen fotometrik ölçümleri	19
Çizelge 2.5	HD 58552 yıldızının TempLogG Geneva parametreleri ile elde edilen fotometrik ölçümleri	19
Çizelge 2.6	HD 58552 yıldızının TempLogG Johnson parametreleri ile elde edilen fotometrik ölçümleri	19
Çizelge 3.1	HD 58552 yıldızının gözlem bilgileri	21
Çizelge 3.2	HD 58552 yıldızının farklı kaynaklardan elde edilen fotometrik parametreleri ve renk indeksleri	27
Çizelge 4.1	HD 58552 yıldızının Strömgren (Moon, Natiwotzki, Balona, Ribas), Johnson ve Geneva filtreleri ile elde edilen T_{et} ve $\log g$ değerleri	30
Çizelge 4.2	HD 58552 yıldızının tayfsal yöntemle hesaplanan atmosfer parametreleri	31
Çizelge 5.1	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	45
Çizelge 5.2	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	46
Çizelge 5.3	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	47
Çizelge 5.4	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	48
Çizelge 5.5	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	49
Çizelge 5.6	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	50
Çizelge 5.7	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	51
Çizelge 5.8	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	52
Çizelge 5.9	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	53
Çizelge 5.10	HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve $\log gf$ değerleri	54
Çizelge 6.1	HD 58552 yıldızının sistematik hata hesabı için kullanılan T , ξ ve $\log g$ 'ye bağlı bolluk değerindeki standart sapmalar	57
Çizelge 6.2	HD 58552 yıldızının kimyasal bolluk ve hata değerleri, σ_{ra} standart rastgele hata, σ_{sis} sistematik hata, σ_{top} toplam hata, A atom numarası ve N çizgi sayısı	58
Çizelge 7.1	Güneş'e göre bolluk değerlerinin HD 58552 ile karşılaştırıldığı üç farklı Am yıldızının atmosfer parametreleri ve dönme hızları	60
Çizelge 7.2	H-R diyagramında kullanılan ve hesaplanan parametreler	63

1. GİRİŞ

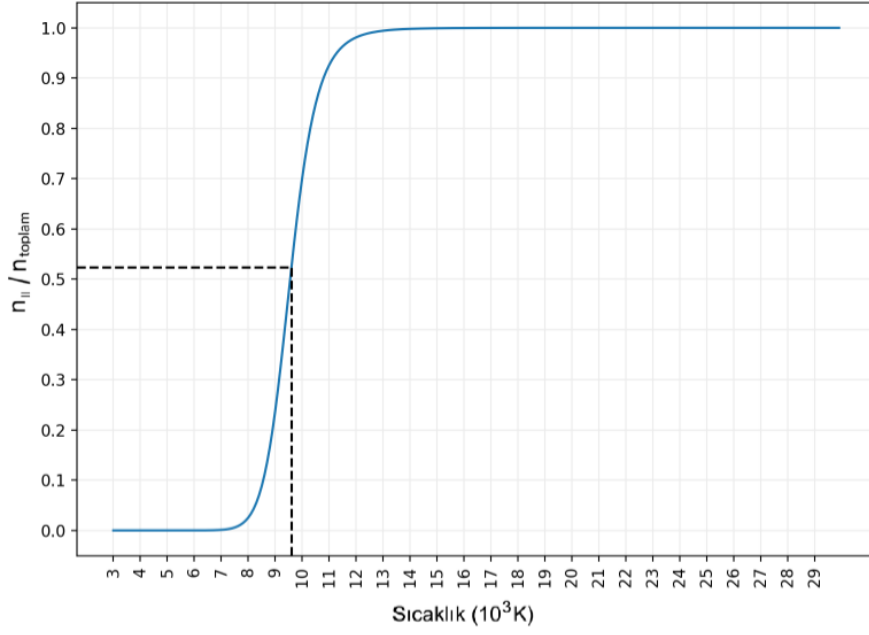
Yıldızlar hakkında öğrenilen bilgilerin büyük çoğunluğu fotosferlerinden gelen ışığın incelenmesi ile elde edildi. Yeni gözlem teknikleri ve analiz yöntemlerinin gelişimi ile farklı türden yıldızların atmosfer gözlemlerinin sayıları her geçen gün artmaktadır.

Yıldızlardan gelen ışıının enerjisi, dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak yıldızların tayflarında görülmektedir. Bu grafikler yıldızın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak farklı profiller gösterir. Yıldız tayfları birçok parametreye bağlı değişkenler içerdiğinden, yıldızın yapısına dair yorum yapabilmek için yıldızın etkin sıcaklığı, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans hızı gibi bilgilerinin kullanıldığı atmosfer modellerinden yararlanılır. Atmosfer model kodlarının tasarımı, gözlemler verilerden ve bilimsel kanunlardan oluşur. Araştırmacılar, elde ettikleri gözlem verilerini bu kodlarla uyarlayabildikleri için, gözlemsel tayflar ile sentetik tayfların uyumunu test edebilirler.

Atmosfer modelleri, yıldızların gözlenen ışıının tayflarını temsil etmek için kullanılan kuramsal araçlardır. Karacisim yasası gereğince, birim yüzeyden birim zamanda ve belirli bir dalgaboyunda salınan ışıının enerji miktarı matematiksel olarak elde edilebildiğinden, ısısal ışıının yayan kaynaklar için teorik atmosfer modelleri üretilebilmektedir. Atmosfer modellerinde yer alan kuramsal enerji dağılımı, yıldızın sıcaklığına ve yüzey çekim ivmesine, aynı zamanda yıldızın kimyasal kompozisyon dağılımına bağlıdır. Bu modeller gözlemsel tayfın sürekliliğini ve tayf çizgilerinin yapılarını çok büyük bir yaklaşıklıkla temsil edebilmektedir.

Yüzey sıcaklığı 9600 K olan yıldızların atmosferlerinde, hidrojenlerin neredeyse yarısı ($20 \text{ N/m}^2 P_e$ 'de % 52'si) iyonlaşmış durumdadır (Şekil 1.1). Yüzey sıcaklığı 11000 K üzerinde olanlarda ise, (11300 K, $20 \text{ N/m}^2 P_e$ 'de % 95'i) nötr hidrojen çizgileri kaybolmaya başlar. Bu durum yıldızın sıcaklığı A tayf türünden B tayf türüne geçerken sınıflandırmada kullanılan bir belirteç olduğundan, A tayf türü yıldızların yüzey sıcaklığı 7500-11000 K aralığında tanımlanmıştır.

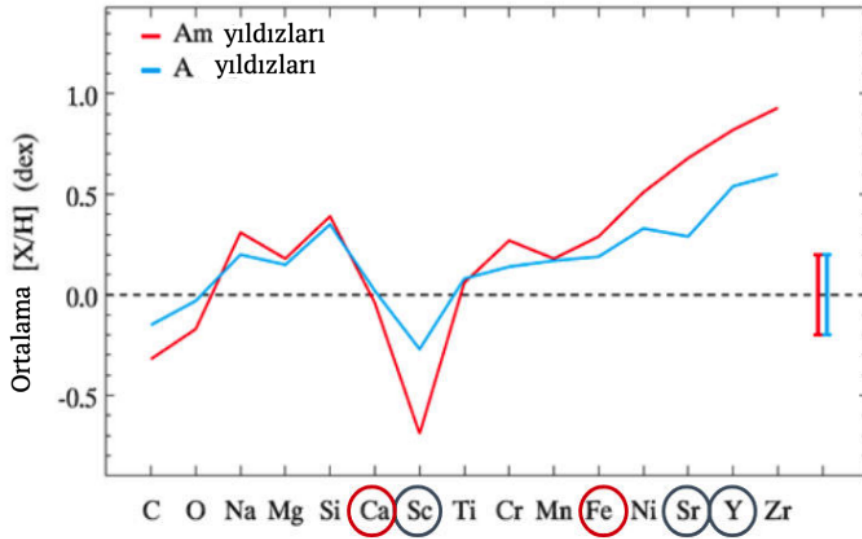
Yıldızların sıcaklığı arttıkça dönme hızları da artmaktadır (Royer vd. 2002). Geç



Şekil 1.1 Saha denklemine göre iyonlaşmış hidrojenin (n_{II}) nötr ve iyonlaşmış (n_{toplam}) hidrojene oranının yıldız sıcaklığı ile ilişkisi.

tayf türlerinden A tayf türüne doğru giderken yıldızın dönme hızı 120 kms^{-1} den yüksek olmaya başlar. Ancak dönme hızı sadece birkaç kms^{-1} olan A yıldızları da mevcuttur. 1940'lı yıllardan beri elde edilen tayfsal bulgulara göre, A yıldızlarının %30'unun (Gray vd. 2016) elementlerinin bolluk dağılımları kimyasal tuhaflık göstermektedir. Bu yıldızların önemli bir kısmı düşük dönme hızına sahiptir. Örneğin M6 NGC açık kümesinde bulunan CD-32 13109 yıldızının dönme hızı $5.1 \pm 0.8 \text{ kms}^{-1}$ olarak belirlenmiş (Kılıçoğlu vd. 2016) ve kimyasal tuhaf Am yıldızı olarak sınıflandırılmıştır. Metalik çizgili (erken Fm, Am, geç Bm) grubundaki kimyasal tuhaf yıldızlarda Ti, V, Cr, Mn, Ni gibi periyodik tabloda 3d grubunda bulunan demir grubu elementleri genel olarak Güneş'e nazaran daha yüksek bolluk değerlerine sahiptir. Atomun kütlesi arttıkça (Sr, Y, Br gibi elementlerin) bolluk oranları Güneş'e göre daha da fazla artmaktadır (Şekil 1.2). Ancak diğer yandan Ca elementi Güneş bolluğuna yakın ya da oldukça fakir olabilmektedir. Sc bolluğu ise Güneş'e nazaran daha fakir olmaktadır.

Bu çalışmada, atmosfer parametreleri belirlenen HD 58552 yıldızının ayrıntılı kimyasal



Şekil 1.2 A tayf türü ve Am tayf türü yıldızların güneşe göre element bolluk dağılımı. Grafikte kütlece daha yüksek elementlerde atom numarası arttıkça güneşe göre bolluğun daha da arttığı izlenebilmektedir (Gebran vd. 2010).

bolluk analizi gerçekleştirildi. Bu yıldızın fotosferinde yer alan tüm atomik türlerin bolluk dağılımları Güneş'inki ile karşılaştırıldı. Bu karşılaştırma sonucunda HD 58552 yıldızın kimyasal tuhaf bir yıldız olup olmadığı tartışıldı. Son olarak, Am türü HD 58552 yıldızının evrimsel durumu ile kütlesi ve yaşı hesaplandı.

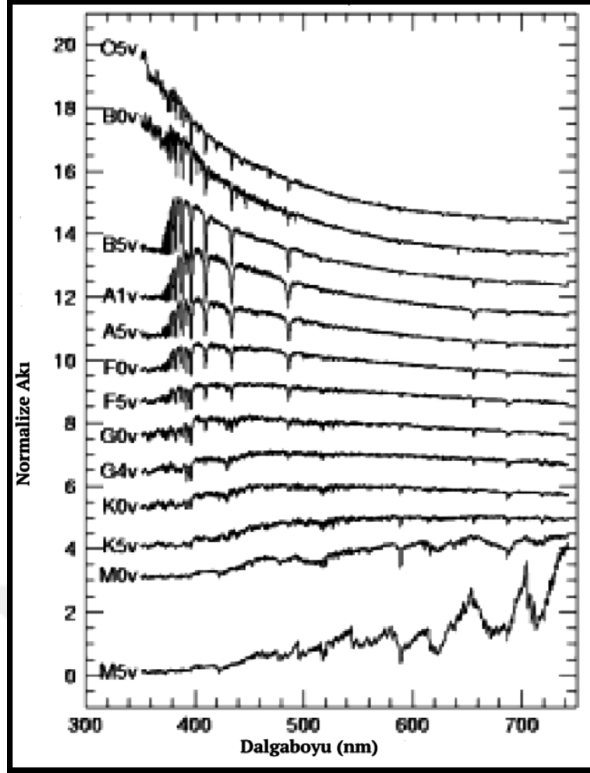
2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 A-Tayf Türü Yıldızlar

Normal A-tayf türü yıldızların metal bolluk dağılımları kimyasal tuhaf yıldızlar ile karşılaştırıldığında, Güneş'in bolluk değerlerine daha yakın ve dönme hızları (Abt ve Morrell, 1995) ise genel olarak 120 kms^{-1} 'den daha yüksektir. Abt ve Morrell (1995) yıldızların 120 kms^{-1} değerindeki dönme hızının kimyasal tuhaflık olgusu için bir üst sınır olabileceğini belirtmiştir.

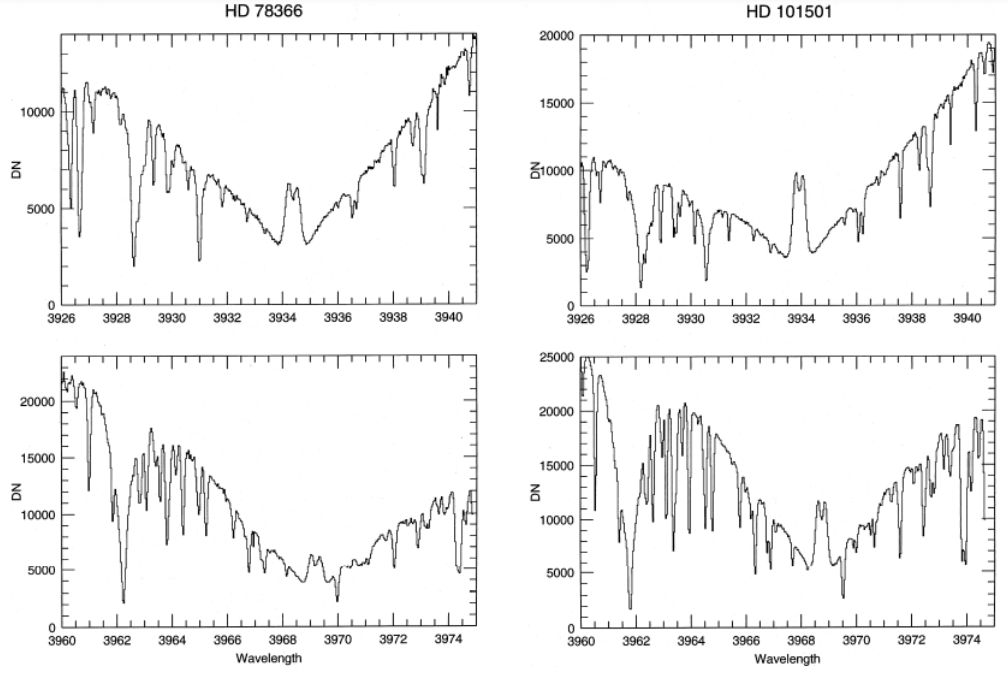
A-tayf türü yıldızlar, temel atmosfer parametrelerini ve kimyasal bolluk dağılımlarını incelemek için tayflarında en ideal çizgi davranışına sahiptirler. Dahası, Balmer çizgileri ve Balmer düşmesinin en şiddetli gözlemlendiği tayf türüdür (Şekil 2.1). Çizgi şiddetinin ve Balmer düşmesinin maksimum gözlemlendiği tayf türü A2 sınıridir. Balmer çizgilerinin şiddeti, A-tayf türünden daha sıcak ve daha soğuk yıldız sıcaklıklarına doğru giderken azaldığından, A yıldızları etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi gibi temel atmosfer parametrelerini hesaplamaya yardımcı olan fotometrik yöntemler için kritik özellikler gösterir (Strömberg, 1984). A yıldızları güçlü ve genişlemiş hidrojen uyarılma çizgilerine sahiptir. 8500 K üzerindeki sıcaklığa sahip A türü yıldız tayflarında Balmer çizgilerinin kanatları yüzey çekim ivmesine duyarlılık gösterir. Daha soğuk 8000 K 'den düşük sıcaklığa sahip A7 gibi türlere giderken ise bu duyarlılık azalmaktadır. Moleküler çizgiler ve bir çok nötr metal çizgileri $7500\text{-}11000 \text{ K}$ mertebesindeki sıcaklıklarda kararlı olamadığı için, daha soğuk yıldızların görünür bölge tayflarında oldukça sık rastlanan çizgi örtüşmelerine A tayf türü yıldızlarda daha az rastlanır. A-tayf türünden daha geç türlere giderken iyonlaşmış metaller ile karşılaşma sıklığı azalır, bu nedenle A tayf türü yıldızların atmosfer parametreleri sadece Balmer çizgilerinden değil, aynı zamanda Fe, Cr, Ti gibi metal çizgilerinden de belirlenebilmektedir. Ayrıca, A-tayf türü iyonlaşma dengesini elde etmek için en ideal sıcaklık aralığındadır.

Her ne kadar Ca II K (393.4 nm) çizgisi bir sıcaklık belirteci olarak kullanılabilse de (Morgan, Abt, Tabscott, 1978) kimyasal tuhaf sınıftan Am yıldızlarında



Şekil 2.1 Farklı tayf türünden anakol yıldızlarının hidrojen Balmer çizgileri ve Balmer düşmeleri (Jacoby vd. 1984).

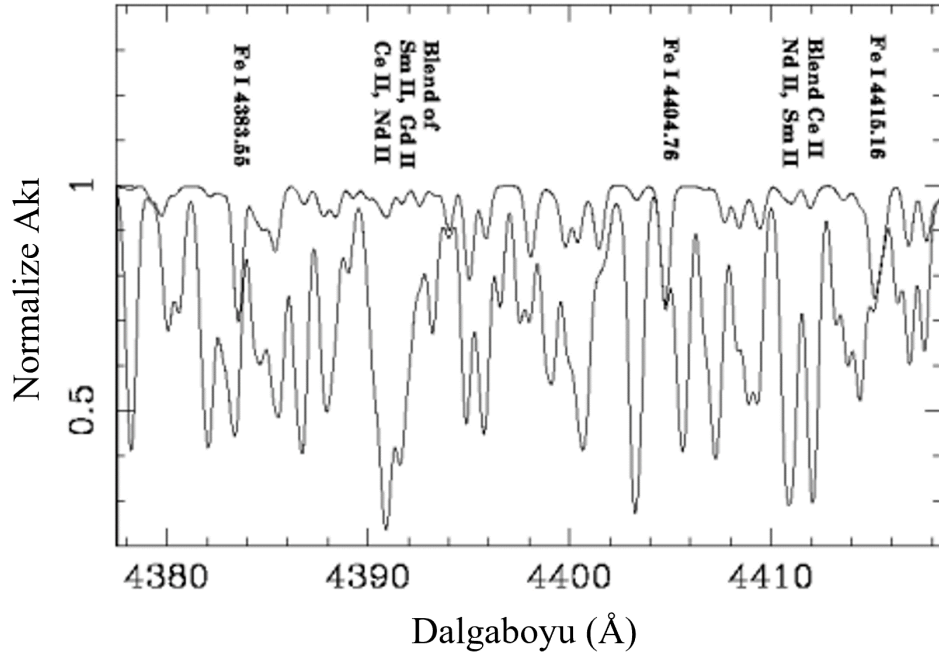
Ca çizgisinin şiddeti azalabildiği için, bu çizgiden sıcaklık ölçümü yapmak hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Diğer yandan Ca II H (396.8 nm) çizgisi A-tayf türü yıldızlarda He tarafından örtülmektedir. Ca II H ve K çizgilerinin şiddeti daha geç tayf türlerine giderken artmaktadır. Yıldızlarda kromosfer varlığının bir belirtici olan (Wilson O. C. 1966) Ca II H ve K çizgilerinin en dip bölgesinde gözlenen bir çift salma çizgisi, (Şekil 2.2) A-tayf türü yıldızlarda neredeyse yok olmuştur. Manyetik alanın dolaylı bir belirtici olan bu oluşum A yıldızlarının geç türlerinde çok az belirgin iken erken türlerde gözlenmesi olanaksızlaşır, çünkü yıldızın sıcaklığı arttıkça konvektif katman taşıma özelliği azalır (Wade ve Neiner 2015; Grunhut vd. 2018). Soğuk yıldızların atmosferlerinde konvektif katman aktiviteleri rol oynarken, sıcak yıldızlara doğru radyatif denge başlar. A tayf türü yıldızların sıcaklığının bu her iki durum için de geçiş aralığında olması, dolayısı ile bu yıldızların geç türlerinde (A5-A9) konvektif katman belirtisi hala gözlenebilirken, erken türlerinde (A0-A4) neredeyse radyatif denge koşulları gözlenir.



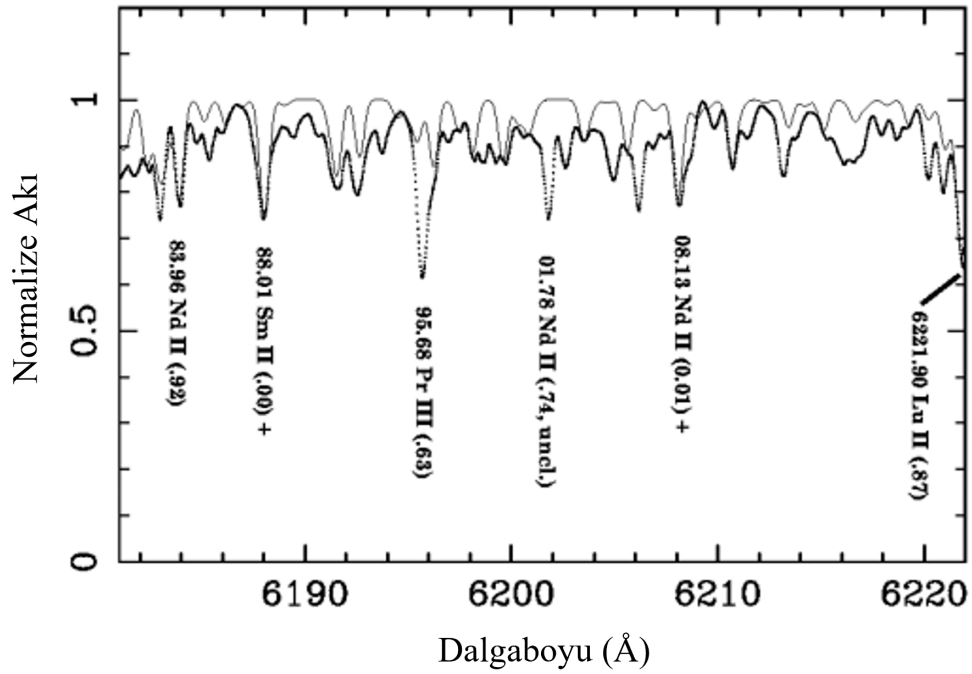
Şekil 2.2 HD 78366 ($T_{\text{eff}}=5900$ K) ve HD 101501 ($T_{\text{eff}}=5535$ K) cüce yıldızlarının Ca II H ve K çizgilerinin tayfı. Bu yıldızlar çok güçlü H ve K salma çizgileri göstermektedir (Smith vd. 1998).

A yıldızlarının ve geç tür B yıldızlarının yaklaşık % 30'u bazı elementlerinde beklenenden daha yüksek ya da daha düşük bolluk değerlerine sahip olabilmektedir. Bu kimyasal anomaliler bu tür yıldızlar için kimyasal tuhaf yıldızlar sınıflandırılmalarının yapılmasına neden olmuştur (Titus ve Morgan 1940; Roman 1948; Sargent 1962; Sargent ve L. W. 1964).

En dikkat çekici kimyasal tuhaflık Sr, Eu gibi elementlere dair bolluklarda gözlenir. Bu elementlerin 4 dex gibi aşırı bir bolluk gösterdiği çalışmalardan biri HD 101065 yıldızına aittir (Cowley ve Mathys 1998). Şekil 2.3'de HD 101065 yıldızının 4378-4418 Å bölgesine ait sentetik ve gözlemsel tayfı görülmektedir. Üstteki tayfta demir grubu elementleri hariç olmak üzere, güneş element bollukları varsayılmaktadır ve demir grubu elementleri 1.0 dex azaltılmıştır. Altteki tayf lantanitlerin bolluklarını göstermektedir. Örnek tayfta Lantanit bolluklarının güneşe göre 4.0 dex artmış olduğu izlenmektedir. Şekil 2.4'de ise aynı yıldızın 6180-6220 Å dalgaboyu aralığındaki güneşe göre daha fazla bolluk değerleri sergileyen diğer lantanit elementleri de görülmektedir.



Şekil 2.3 HD 101065 yıldızının ($T_{et}=6500$ K) 4378-4418 Å bölgesine ait sentetik ve gözlemsel tayfı (Cowley ve Mathys, 1998).



Şekil 2.4 HD 101065 yıldızının ($T_{et}=6500$ K) 6180-6222 Å bölgesine ait gözlemsel ve sentetik tayfı. Kalın çizgi; gözlemsel tayf. İnce çizgi; sentetik tayf (Cowley ve Mathys, 1998).

2.1.1 Yıldızlarda kimyasal tuhaflik olgusu

Kimyasal tuhaflik olgusunun sebeplerine dair en basariili aciklamalardan biri kimyasal olarak ayrismis alanlara sebep olan donmeye bagli modulasyonlardır. Diğ er bir varsayim ise, soguk yildizların aksine 40 kG (4 Tesla) gibi bir manyetik alana sahip olma durumu, yildızın yüzeyinde küresel bir organizasyona (yildız yüzeyinde iyonların elektrik alan çizgilerini takip ettiğ i durum) neden olur, ki bu durumlarda manyetik alan eksenini dönme eksenini ile hizalı değ ildir, yani oblik durumdadır (ing. Oblique rotator). Kimyasal kompozisyon dağı lımını manyetik geometri ile oldukça iliş kilidir (Deutsch 1956; Babcock 1960; Preston 1970; Mathys 1990). Yıldızların yavaş dönmesi durumunda, elementlerin ve parç acıkların belli bölgelerde uzun vakit geçirebilmesi, kimyasal olarak ayrış mayı açıklayabilmektedir (Vauclair vd. 1979; Michaud 1983). Kimyasal tuhaf yildızlardan Ap ve Bp grupları aynı tayf türüne sahip yildızlardan daha yavaş dönmektedir (Abt 2000). Bazı Ap yildızları ise zonklamadan kaynaklı radyal hız değ iş imleri gösterir (Kurtz 1982).

Manyetik alan özelliğ i taşıyan kimyasal tuhaf yildızlar, Ap katagorisinde tanımlanmıştır. Gözlenen manyetik alanların yildız yüzeyinde kararlı ve küresel olarak organize olduğ u dikkat çekmiştir. Bu yildızlarda 10 Gauss (0.001 Tesla) değ erinde manyetik alan değ eri ölçülebilir hale gelir, diğ er yandan on binlerce Gauss ş iddetinde manyetik alan değ erleri de ölçülmüştür (örn. Mathys 1997). Normal A-tayf türünden yildızların dönme hızları 120 kms^{-1} den yüksek değ erlerde iken (Abt ve Morrell, 1995), çok hızlı titreş en (hızlı döngülü ıř ık değ iş im modu gözlenen) kimyasal tuhaf (roAp) yildızlarda aş ırı düşük dönme periyotları gözlenmiştir. Ayrıca roAp yildızları Ap yildızlarının bir alt sınıfı olup güçlü manyetik alanlara sahiptirler. Manyetik alanın ortalama büyüklüğü birkaç kG'dır (Mathys 2017). Mathys vd. (1997) çalış malarında 7.5 kG'dan büyük manyetik alan ş iddetinin sadece 150 günün altındaki dönme dönemine sahip yildızlarda bulunduğ unu bildirmiş lerdir. Ancak Mathys vd. (2020) çalış malarında HD 166473'ün 3836 gün (10.5 yıl) dönme periyoduna sahip olduğ unu tespit ettikten sonra, 7.5 kG'lık manyetik alan ş iddetinin, dönme periyodu 150 günden daha büyük yildızlar için sadece bir üst limit olduğ unu açıklamış lardır. A-tayf türünden yildızların manyetik alanı Zeeman yarılması ya da Doppler harita-

landırması gibi tekniklerle belirlenebilir.

Kimyasal tuhaf olma olgusuna dair genel olarak kabul edilen görüşlere göre, manyetik alan ya da çift yıldız sistemleri gibi bazı faktörler (örn. Abt ve Snowden 1973; Shore ve Adelman 1974; Ghazaryan ve Alecian 2016), kimyasal tuhaf yıldızların yavaş dönmesine neden olur. Yavaş dönme olgusu, ortamda türbülansdan dolayı meydana gelen karışımı azaltarak daha sakin bir atmosfer oluşumuna olanak tanır (Michaud vd. 1983). Ancak, bu faktörlerin atmosferik bollukları nasıl etkilediği ve bu süreçleri nasıl yönettiği hala tam olarak anlaşılmamıştır. Diğer yandan Am yıldızlarının gözlenebilen bir manyetik alanı olmadığı için, manyetik geometrinin neden olduğu modülasyonların Am yıldızlarında gözlenen kimyasal tuhaflığı açıklayabilmesi söz konusu değildir. Am (Fm/Am) yıldızları genel olarak ışık değişimi olmayan (zonklama gözlenmeyen) ve oldukça yavaş dönen yıldızlardır. Hızları birkaç kms^{-1} ile en fazla birkaç 10 kms^{-1} olabilmektedir ve oldukça düşük manyetik alan değerlerine sahiptirler (Mathys ve Lanz 1990). Difüzyon teorisine göre, karışımın olmadığı durumlarda, hafif elementler düşük yoğunluklu olarak görülürken, ağır elementler ortama aşırı zenginleşme olarak yansıtılır (Salaris ve Weiss, 2001; Michaud vd. 2015). Difüzyon teorisi hem manyetik yıldızlar hem de metalik çizgili yıldızlar için, yavaş dönmenin sebep olduğu sakin ve kararlı atmosferler gerektirir (Fossati vd. 2008). Güçlü manyetik alanların, konvektif malzemeyi manyetik alan çizgileri bölgesinde sabitleyeceği, yavaş dönmenin de meridyonal dolaşımı minimize edeceği ve bunun sonucunda atomik difüzyon karşısı karışımı en aza indireceği düşünülmektedir (Alecian, 2021).

2.2 Kimyasal Tuhaf Yıldızların Tayflarına Göre Sınıflandırılması

Yıldız tayflarındaki kimyasal tuhaflıklar ilk defa Morgan (1933) tarafından fark edildi. Bu durum, daha sonra görünür bölge tayflarında bazı elementlerin (Ca, Sc, Si, Mn, Cr, Sr ve Eu) çizgilerinin şiddetlerinin, ilgili tayf türünden beklenenden ya daha zayıf ya da daha güçlü çizgilere sahip olması gibi tuhaflıklarla tanımlandı.

Titus ve Morgan (1940), bu sıra dışı yıldızları incelediğinde bazılarının ortak özelliklere sahip olduğunu fark etti. Tuhaflık gösteren yıldızları ayrı bir grup altında

değerlendirip, bu yıldızlara "metalik çizgili" adını verdi.

A-tayf türünden yıldızlar, kimyasal tuhaf yıldızlar olarak tanımlanan ve Preston sınıflamasını içeren (Preston, 1974) sıcaklık (7000 K;F4 - 25000 K;B2) aralığındadır. Kimyasal tuhaf yıldızlarda H, He, Hg, Mn, Ca, Sc, Si, Sr, Cr, Mg ve aynı zamanda Eu, Nd gibi (Lanthanides) nadir toprak elementlerin bolluğu, söz konusu tayf türünden beklenen bolluğa göre daha fazla ya da daha az ölçülür. Preston (1974), optik bölgedeki manyetik alan şiddeti ve soğurma çizgilerinin şiddetine göre, CP yıldızlarını dört ana alt gruba ayırmıştır. CP1; metalik çizgi veya Bm/Am/Fm yıldızları, CP2; manyetik Bp/Ap yıldızları, CP3; HgMn yıldızları ve CP4; He-zayıf yıldızlar.

CP yıldızları genel olarak anakol yıldızlarıdır. Çizelge 2.1'de Smith (1996b)'in, anakol üzerinde konumlanan kimyasal tuhaf yıldızlar için oluşturduğu, Preston (1974) sınıflamasına göre yıldızın sıcaklık ve tayfsal karakteristiğinin belirteçleri gösterilmektedir.

Diğer kimyasal tuhaf yıldızlar arasında, baryum yıldızları (örn. McClure 1984), hidrojen yoksun (λ Bootis) yıldızları (örn. Hunger 1986), karbon yıldızları (örn. Goebel vd. 1983), teknesyum yıldızları (Perry 1971) ve bunun gibi bir ya da birkaç elemente ait bolluk değerlerini Güneş'e göre aşırı zengin gösteren ya da bazı elementlerce Güneş'e göre aşırı fakir yıldızlar yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Kimyasal tuhaf yıldızların Preston sınıflaması.

Sınıflama	Preston sınıflaması	Tayfsal karakteristiği	Tayf türü	Sıcaklık (K)
λ Boo		Zayıf Mg II ve zayıf metaller	A0-F0	7500-9000
Am- Fm	CP1	Zayıf Ca II ve/veya Sc II, güçlü metalik çizgiler	A0-F4	7000-10000
Bp-Ap	CP2	Sr, Cr, Eu ve/veya Si	B6-F4	7000-16000
HgMn	CP3	Hg II ve/veya Mn II	B6-A0	10500-16000
He-fakir	CP4	Zayıf He	B2-B8	14000-20000
He-zengin		He I	B2	20000-25000

2.2.1 CP1

CP1 yıldızları genel olarak çok zayıf veya algılanamayan manyetik alanlara sahiptirler. Bu yıldızlar tayflarında söz konusu tayf türünden beklenen bolluğa göre C, N, O gibi hafif element bollukları bakımından daha fakir olabilmektedir. Sc ve/veya Ca bollukları bakımından Güneş'e nazaran daha fakir olabilirken, Fe, Cu, Zn gibi demir grubu elementler bakımından Güneş'e göre daha zengindirler. Aynı zamanda Sr, Y, Zr ve Ba gibi daha ağır elementler bakımından Güneş'e göre daha da zengin olabilmektedir. Ti, V, Cr, Mn ve Ni gibi demir grubu elementlerinin de Güneş'e göre zengin olmaları yaygın olarak gözlenen bir durumdur. Bu nedenle, metalik çizgili yıldızları veya Bm/Am/Fm yıldızları olarak adlandırılırlar. Daha ağır elementlere gittikçe (Sr, Y, Ba gibi) Güneş'e göre bolluğun artma oranı daha da fazla olabilmektedir (Şekil 1.2). Michaud (1983) ve Roman vd. (1948) gözlenen anormalliklerin, türbülans ve kütle kaybı gibi farklı fiziksel süreçlerden kaynaklandığını belirtti. Kimyasal tuhafılık olgusunun nedenleri bölüm 2.1.1'de açıklandı.

Conti (1970), Am yıldızlarını sınıflara ayırırken aşağıdaki üç çeşit tayfsal belirteçten yararlandı.

- i) Yıldız, iyi bir etkin sıcaklık (T_{et}) tahmini veren Balmer çizgilerine sahiptir.
- ii) Ca II K çizgisi (λ 393.4 nm) söz konusu tayf türünden beklenen yıldızlara göre daha zayıf olduğu için, yıldız daha sıcak bir tayfsal tür görünümüne sahiptir,

iii) Metal çizgileri söz konusu tayf türünden beklenen yıldızlara göre daha şiddetli olduğu için, daha soğuk bir tayfsal tür görünümüne sahiptir.

Tayfsal türleri Ca II K-çizgisi ve metal çizgileri ölçülerek belirlenen ve aralarında 5 ya da daha fazla alt tür farkı olan Am yıldızları "klasik Am yıldızları" olarak adlandırılır (Abt ve Morgan 1976). Klasik Am yıldızlarının tayflarında, Ca II K çizgisinin yoğunluğu Balmer çizgilerinden daha zayıftır ve tayf çizgileri daha erken bir tayfsal tür görünümündedir, metal çizgileri ise daha yoğundur ve daha geç bir tayfsal türden çizgi görünümüne sahiptir.

Am yıldızı özelliklerini klasik Am yıldızlarına göre daha az gösteren yıldızlar için bu fark beş alt türden azdır. Ca II K ve metal çizgileri arasındaki fark beş alt türden daha düşük olan bu tür Am yıldızları "marjinal Am yıldızları" olarak adlandırılır. Ca ve/veya Sc bolluğu bakımından Güneş'e göre fakir olduğu halde metal elementleri bakımından güneş benzeri bolluk değerleri gösteren A yıldızları ise "mild Am" olarak adlandırılır.

2.2.2 CP2

CP2 yıldızların büyük çoğunluğu fotometrik, tayfsal ve manyetik değişim gösterir. Am ve Ap yıldızları arasındaki en büyük fark, Ap yıldızlarının güçlü manyetik alanlara sahip olmasıdır. Ancak manyetik etkinin neden olduğu Zeeman yarılması gibi tayfsal özellikler olmadan, düşük çözünürlüklü tayflarda Am ve Ap yıldızları arasındaki ayrımı yapmak zordur.

Belirli bir dereceye kadar bazı Ap yıldızları da Am yıldızlarının bolluk özelliklerini sergilerler (Smith 1996; Romanyuk 2007). Ap yıldızlarının bazı üyeleri ise Güneş benzeri bolluk dağılımı gösterir.

CP2 yıldızları tayflarında söz konusu tayf türünden beklenen bolluğa göre daha yüksek değerlerde Si, Cr, Sr ve aynı zamanda Eu, Nd gibi nadir toprak element bollukları gösterir. Bolluk değerleri bazen CP1 yıldızlarıyla benzer bir şekilde artmış olan metal çizgilerine sahiptirler. CP2 yıldızların kimyasal tuhaflığına güçlü manyetik alanlara sahip olmalarının neden olduğu düşünüldüğü için (Babcock, 1960) manyetik

Bp/Ap yıldızları (veya genel olarak Ap yıldızları) olarak da adlandırılmaktadır. Bu yıldızlar Si, Hg veya Sr, Cr, Eu, Nd, Pr gibi ağır elementlerde Güneş'e göre birkaç mertebe daha bol olabilmektedir.

CP2 yıldızlarında gözlenen manyetik alanın ata yıldızlarından arda kaldığı tahmin edilmekte ve değeri 10 kG'nin üzerinde olabilmektedir.

Çizelge 2.2 CP yıldızlarının ortalama tayf türüne göre tayfsal karakteristiği.

Sınıflama	Tayfsal karakteristiği	Ortalama Tayf türü
Morgan yıldızları	$\lambda 4200$, Si- $\lambda 4200$	AO
Mn yıldızları	Mn	B8-B9
Si yıldızları	Si	AO
Si ve Eu-Cr yıldızları	Si, Eu-Cr	AO
Eu-Cr yıldızları	Eu-Cr	A1
Eu-Cr ve Sr yıldızları	Eu-Cr, Sr	A2
Sr yıldızları	Sr	A3

Jaschek ve Jaschek (1958), daha önce tayfsal verileri çalışılmış 126 kimyasal tuhaf yıldızı kullanarak, tayfsal türlere göre bir sınıflama yapmıştır (Çizelge 2.2). CP2 yıldızları tayflarında Si, Eu, Cr, Mn veya Sr bakımından Güneş'e göre daha yüksek bolluk değerleri sergilemektedir.

2.2.3 CP3

Hg-Mn yıldızları veya civa-mangan yıldızları olarak da bilinirler. Tipik olarak geç B-tayf türü yıldızlarıdır. Tayflarında, söz konusu tayf türünden beklenen bolluğa göre daha zengin ölçülen Hg II ($\lambda 398,4$ nm) ve/veya Mn çizgileri gözlenir. Aynı zamanda hafif elementleri (örneğin He, Al ve N) Güneş'e göre düşük bolluk değerlerine sahiptir.

Adelman vd. (2002), civa-mangan yıldızı olarak bilinen α And yıldızının tayflarında yer alan Hg II ($\lambda 398,4$ nm) çizgilerinde gözlenen dönemli profil değişiminin nedenini

yıldızın yüzeyinde civanın homojen olarak dağılmaması ile açıklamıştır. CP3 yıldızlarının çoğu çok yavaş dönen yıldızlardır ve $v_{\text{sin}} < 30 \text{ kms}^{-1}$ dir (Abt vd. 1972). Zayıf veya algılanamayan manyetik alan şiddetine sahiptirler.

2.2.4 CP4

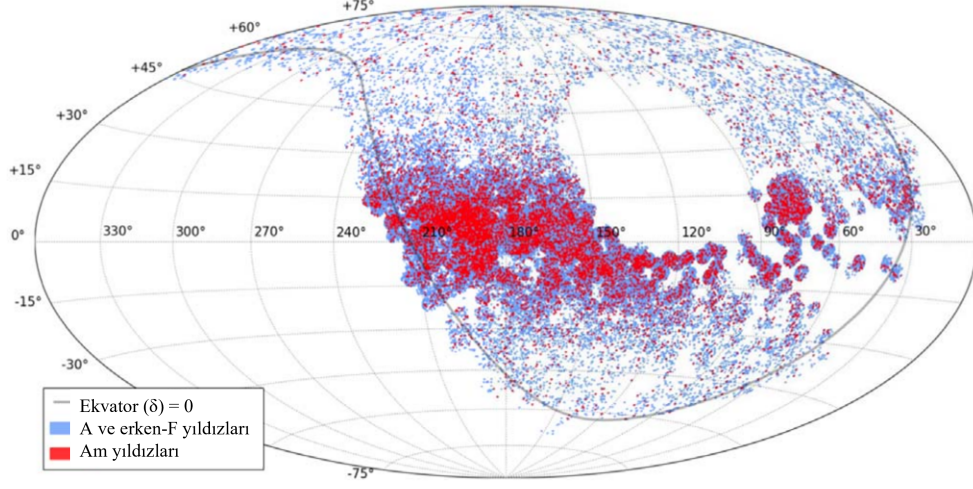
Oldukça zayıf He çizgilerine sahip olan bu yıldızlar He bolluğu bakımından aynı tayf türünden beklenen yıldızlara göre daha fakirdir. Bu nedenle He-zayıf yıldızlar olarak da adlandırılırlar.

CP4 yıldızları 1 kG'nin üzerinde manyetik alan şiddetine sahip yavaş dönen yıldızlardır (Preston 1974). Bu yıldızlardaki kimyasal özelliklerin atomik difüzyondan kaynaklandığı düşünülmektedir (Michaud 1983,2015; Khokhlova 1981). Sadece He bakımından değil, C, O, Mg, S gibi diğer hafif element bollukları bakımından da Güneş'e göre fakir olmalarıyla karakterize edilirler (Smith 1996a). Diğer yandan hafif elementlerden P bolluğu ise Güneş'e nazaran yüksek olabilmektedir.

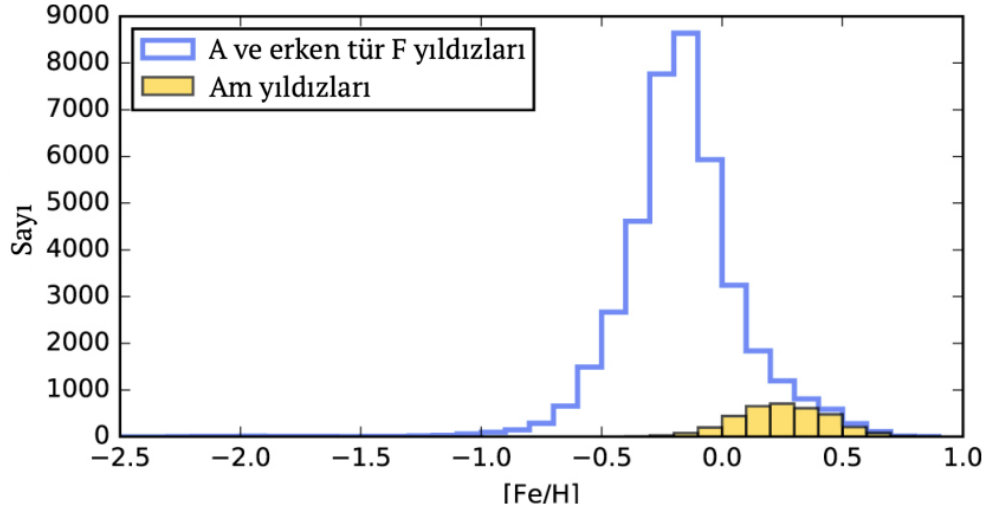
2.3 Metalik Çizgili (Am) Yıldız Çalışmaları

Am yıldızları ilk olarak Titus ve Morgan (1940) tarafından tanımlandı. Morgan-Keenan (MK) sistemine yönelik sınıflandırılması ise Roman vd. (1948) tarafından tanımlandı. İlerleyen yıllarda Conti (1970), Am yıldızlarının doğasını açıklayan daha ayrıntılı bir tanım yaptı. Bu tanıma göre Ca II K çizgisi ($\lambda 393,3 \text{ nm}$) tayfsal olarak erken tür A yıldızları özellikleri sergilerken, diğer metal çizgileri geç A veya erken tür F yıldızları özellikleri göstermekteydi. Hidrojen çizgileri ise bu iki durumun ortasında yer alan özelliklere sahipti.

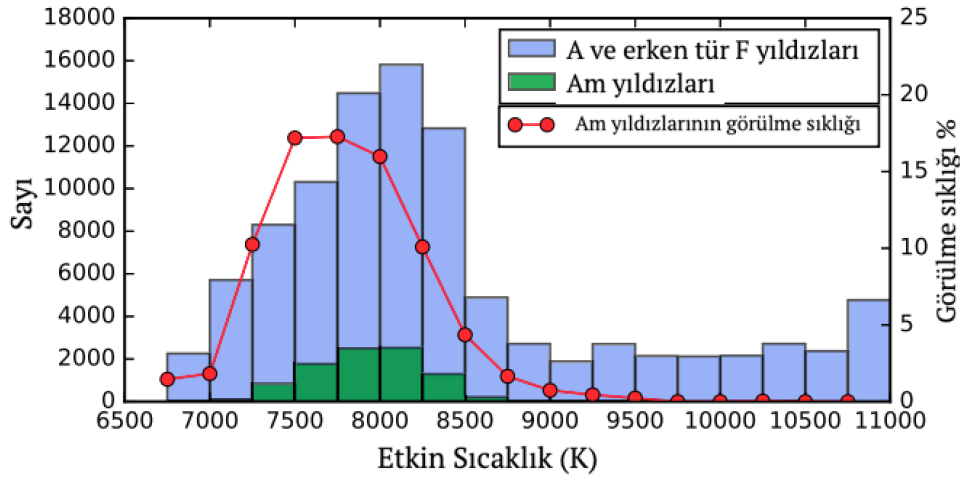
Renson vd. (1991) tarafından yapılan ilk CP yıldızları kataloğundan sonra, Renson ve Manfroid (2009), literatürden yaklaşık 4000 Am yıldızını (veya olası Am yıldızını) araştırıp, bunların içinden 116 yıldızın iyi bir şekilde incelendiği başka bir CP yıldız kataloğu sundu. Smalley vd. (2017) 864 Am yıldızını kullanarak metalisite çalışmaları yaptı. Abt (2017) ise 462 Am yıldızına dayanarak Am yıldızı evrimini araştırdı. Chen vd. (2017) 426 bilinen Ap ve Am yıldızının kızlötesi fotometrik



Şekil 2.5 LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen metalik çizgili yıldızların galaktik koordinat düzlemindeki mekânsal dağılımı. Mavi noktalar tüm A- ve erken F-türü yıldızlarını, kırmızı noktalar ise Am yıldızlarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, galaktik diskteki Am yıldızlarının sayısı diğer bölgelere kıyasla önemli ölçüde yüksektir, çünkü LAMOST gözlemlerinin çoğu Galaktik diskte yoğunlaşmıştır, özellikle anti-merkez yönünde (Qin vd. 2019).



Şekil 2.6 LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen metalik çizgili yıldızların metalisitesi. Erken tip yıldızların ve Am yıldızlarının metal bolluğunun dağılımı. Metalisite parametreleri LAMOST kataloğundan alınmıştır (Qin vd. 2019).



Şekil 2.7 LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen metalik çizgili yıldızların etkin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Am yıldızlarının dağılımı ve görölme sıklığı. Yekseninin solundaki sayılar A yıldızlarının dağılımını temsil etmektedir. Y ekseninin sağındaki yüzde değerleri ise Am yıldızlarının oluşum sıklığıdır. Kırmızı hat her bir barda Am yıldızlarının görölme sıklığıdır (Qin vd. 2019).

çalışmasını gerçekleştirdi. Balona vd. (2015) ise 29 Am yıldızının ışık değişimlerini inceledi. Hou vd. (2015), Ca II K ve Fe çizgi dizinleriyle oluşturulan Am yıldızlarına dair gözlemsel bir ayırım eğrisini oluşturup, aynı zamanda LAMOST-DR1'i kullanarak 3537 Am adayı buldu. Bu çalışma, düşük çözünürlüklü tayfsal veri tabanındaki ilk Am yıldızı araştırmalarından biridir. Ancak, Am yıldızları ve normal yıldızlar ayırım eğrisi marjinal Am yıldızları bölgesinde ayırt edilememektedir.

İlerleyen yıllarda, Gray vd. (2016), LAMOST-Kepler alanındaki tayfları sınıflandırıp, hidrojen çizgi türleri A4 ile F1 arasında değişen toplam 1067 Am yıldızı belirledi. Daha sonra LAMOST-DR5'in, sinyal-gürültü oranı 50'den büyük olan erken tip yıldızların 200.000'den fazla düşük çözünürlüklü tayfsal verilerini yayınladıktan sonra, Quin vd. (2019) bu çok sayıda yıldız içeren veritabanında, metalik çizgili yıldızlarının aramasını ve istatistiksel özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirdi. Arama veri kümesinde 193.345 yıldızın tayfını inceledi. Şekil 2.6'da LAMOST DR5'in düşük çözünürlüklü tayflarından belirlenen erken tip yıldızların ve Am yıldızlarının metal bolluğunun dağılımı görülmektedir. $[Fe/H]$, yıldızın metal zenginliğini Güneş'e göre göreceli olarak temsil etmek için kullanılır. Am yıldızlarında $[Fe/H]$ Güneş'e göre

daha fazla olduğu için sarı renkli barların 0.0-0.5 dex arasındaki değerlere yayıldığı görülmektedir. Am yıldızları sayıca A ve erken tür F yıldızlarının yaklaşık % 10'unu temsil etmektedir.

2.4 HD 58552 Yıldızı

HD 58552 yıldızı Küçük Köpek Takımyıldızının bir üyesidir. Bu yıldızın literatürde kimyasal bolluk ile ilgili kapsamlı bir çalışması yer almamaktadır. Cowley vd. (1969) ve Osawa (1959) HD 58552 yıldızının tayf türünü A2 olarak belirlemiştir. Cannon ve Pickering (1993) ve Palmer vd. (1968) ise tayf türünü A0 olarak belirlemiştir. Radyal hızları ise sırasıyla -10 kms^{-1} (Duflet vd. 1995; Gontcharov, 2006), -9 kms^{-1} (Palmer vd. 1968) ve -12.5 kms^{-1} (Harper, 1937) olarak ölçülmüştür. Zorec ve Royer (2012) HD 58552'nin etkin sıcaklığını 8730 K olarak hesaplamıştır. Bai vd. (2019) yıldızın kütlesini $2.18 M_{\odot}$, yarıçapını $1.79 R_{\odot}$, yoğunluğunu $3.820\text{E-}01 \text{ cgs}$ olarak hesaplamış, $\log g$ değerini ise 4.27 olarak bulmuştur. Kimyasal tuhaf yıldızlar çoğunlukla söz konusu tayf türünden beklenenden daha yavaş dönme hızına sahiptir. Abt ve Morel (1995), A-tayf türünden bir yıldızın dönme hızının, o yıldızın kimyasal tuhaf bir element dağılımına sahip olup olmayacağı konusunda fikir verebileceğini söyler. HD 58552 yıldızının dönme hızını Royer vd. (2002, 2007) 16 kms^{-1} ve Abt ve Morrell (1995) 10 kms^{-1} olarak ölmüştür. Bu değerler bir A-tayf türü için beklenenden daha düşüktür.

2.4.1 HD 58552 yıldızının fotometrik parametreleri

HD 58552 yıldızının Geneva parlaklık değerleri Frauard vd. (2015) tarafından yayınlanan katalogdan alındı. Yıldızın $ubv\gamma$ parlaklıklarının alındığı CADARS kataloğu Pasinetti vd. (2001) tarafından, V ve B renklerinin elde edildiği Tycho-2 kataloğu ise Høg vd. (2000) tarafından yayınlanmıştır. Geneva parlaklıkları, $ubv\gamma$ renk indekleri, B ve V renklerinin fotometrisi çizelge 2.3'de yer almaktadır. Literatürden elde edilen parlaklık değerleri ve renk indeksleri TempLogG (Kupka ve Lueftinger, 2000) programına uyarlanarak değerlerin çıktıları çizelge 2.4, 2.5 ve 2.6'da listelendi.

Çizelge 2.3 HD 58552 yıldızının farklı kaynaklardan alınan fotometrik parametreleri.

Parametre	bulgular	kaynak
(Geneva) renk indexleri	(U-B1), (U-B2), (V1-G), (B2-G)	Frauard, 2015
	0.610, 0.055, -0.484, -0.586	
B	6.443	Høg, 2000
V	6.377	Høg, 2000
(Strömgren) renk indexleri	(b-y), (m1), (c1), (HBeta)	Pasinetti, 2001
	0.032, 0.194, 1.003, 2.899	
paralax (mas)	11.4841	Gaia Collaboration, 2020
	11.2696	Gaia Collaboration, 2018
	10.3300	Perryman vd. 1997
	12.5500	van Leeuwen, 2007
	11.9000	Gaia Collaboration, 2016
vsini (kms ⁻¹)	16	Royer vd., 2007
	16	Royer vd. 2002
	10	Abt ve Morrell,1995
V _{helio} (kms ⁻¹)	-10	Duflot vd. 1995
	-12	Wilson, 1953
	-10	Gontcharov, 2006
	-9	Palmer vd. 1968
	-12.5	Harper, 1937
T _{et} (K)	8730	Zorec ve Royer, 2012
uzaklık (pc)	87.0770	Gaia Collaboration, 2020
	88.7343	Gaia Collaboration, 2018
MK sistemi	A2IV	Cowley vd. 1969
	A0	Cannon ve Pickering, 1993
	A0V	Palmer vd. 1968
	A2V	Osawa, 1959

Çizelge 2.4 HD 58552 yıldızının TempLogG Strömgren parametreleri ile elde edilen fotometrik ölçümleri.

	Moon(1985)	Natiwotzki (1993)	Balona (1994)	Ribas (1997)
T_{et} ((K)	8876	8469	8632	8873
$\log g$ (dex)	4.217	4.092	4.244	4.222
metalisite	0.195	0.195	0.195	0.195
tayf türü	A3	A4	A3	A3

Çizelge 2.5 HD 58552 yıldızının TempLogG Geneva parametreleri ile elde edilen fotometrik ölçümleri.

T_{et} (K)	$\log g$ (dex)	tayf türü
8924	4.667	A2

Çizelge 2.6 HD 58552 yıldızının TempLogG Johnson parametreleri ile elde edilen fotometrik ölçümleri.

T_{et} (K)	$\log g$ (dex)	yarıçap $R_{\odot}$	tayf türü
8674	4.229	1.817	A2

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 HD 58552 Yıldızının Gözlemsel Verisi ve İndirgeme İşlemleri

HD 58552 yıldızının yüksek çözünürlüklü ($R=40000$) 3900-8000 Å dalgaboyu aralığını kapsayan tayfı, 23 Şubat 2017 tarihinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) yer alan 1.50 metrelik Türk-Rus Teleskobunda (RTT150) konumlanmış olan Coude (echelle) tayfçekerisiyle elde edildi. Yıldızın tayfı ile beraber kalibrasyon görüntüleri olan Flat, Bias ve Toryum-Argon lambda görüntüleri de alındı. Yıldızın gözlemsel verileri ile ilgili bilgiler çizelge 3.1'de yer almaktadır.

İndirgeme işlemi için, IRAF programında bulunan paketler kullanılarak, ön-indirgeme, dalgaboyu kalibrasyonu ve saçılmış ışık düzeltmesi yapıldı. Dikine hız ve Doppler düzeltmesi yapıldıktan sonra elde edilen tayf, kozmik ışıklardan arındırıldı. Tayfın süreklilik seviyesine normalizasyonu, yine IRAF içinde yer alan paketler kullanılarak gerçekleştirildi.

3.1.1 Görüntü başlıkları

Görüntü başlık bilgileri 'imhead' taskı kullanılarak indirgenme işlemi başlamadan önce incelendi. Eksik başlıklar belirlenip yeni başlıklar eklemek için 'hedit' taskı kullanıldı. Başlık bilgilerine ek olarak 'kazanç' (ing, Gain), 'okuma gürültüsü' (ing, Rdnoise) ve 'dispersiyon eksenini' (ing, Dispaxis) eklendi.

3.1.2 Bias ve flat görüntüleri

IRAF paketinde yer alan DS9 programı kullanılarak önce tüm görüntüler kontrol edildi. Bias ve flat düzeltmeleri gözlemsel verilerden aletsel etkileri arındırmak için yapıldı. CCD nin içinde bulunan her bir piksel aynı duyarlılığa sahip olmadığından bilimsel veriye yaratacağı etkiyi tayftan arındırmak için flat görüntüleri kullanıldı. Böylece CCD dedektör üzerinde ışık, her bir noktaya eşit miktarda düşürülmüş oldu.

Bias sayımları yıldızın görüntülerinden çıkarıldığında, tayf CCD'nin kendi bünyesinden kaynaklı elektronik gürültülerden temizlenmiş oldu. Bias görüntülerinden tek

bir ZERO görüntüsü elde edildikten sonra bilimsel görüntülerden çıkarıldı. Tek bir ZERO görüntüsünü elde etmek için, ccdred paketi içinde bulunan ‘zerocombine’ taskı kullanıldı. Ardından ‘ccdproc’ taskı ile bütün görüntülerden ZERO değeri çıkarıldı.

Bilimsel görüntüler Flat görüntüsüne bölünmeden önce flat görüntüleri normalize edildi. Flat normalizasyonundan önce ise ‘ccdred’ paketinde bulunan ‘flatcombine’ taskı kullanılarak tek bir Flat görüntüsü elde edildi. Flat normalizasyonu işlemi, ‘echelle’ paketinde bulunan ‘apflatten’ taskı kullanılarak yapıldı. Ardından yıldızın tayfı ‘ccdproc’ taskı kullanılarak normalize edilmiş Flat görüntüsüne bölündü ve böylece yıldız görüntüsüne flat düzeltmesi yapıldı.

Çizelge 3.1 HD 58552 yıldızının gözlem bilgileri.

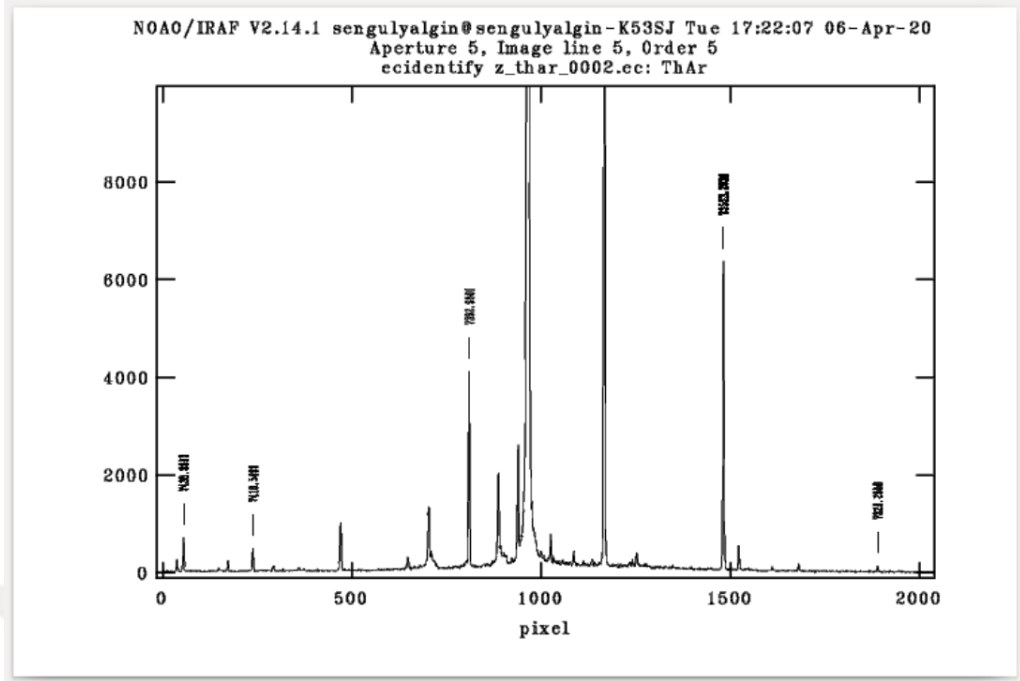
Gözlem tarihi	23-02-2017
Poz Süresi	4500 s
Dik açıklık	10:35:29.0
Sağ açıklık	07:26:27.8
S/N	148

3.1.3 Saçılmış ışık düzeltmesi ve tayfin çıkarılması

Tayfçekerlerde, ışık yarıktan geçtikten sonra kırınım ağı üzerine düşerken, kırınım ağı basamakları arasında saçılmaya uğramaktadır. Bu saçılma etkisini tayf görüntüsünden gidermek için saçılmış ışık düzeltmesi yapılır. Bu nedenle ‘echelle’ paketi içindeki ‘apscatter’ taskı kullanılarak saçılmış ışık düzeltilmesi yapıldı. İndirgenmiş yıldız tayfını elde etmek için ‘echelle’ paketindeki ‘apall’ taskı kullanıldı.

3.1.4 Dalgaboyu kalibrasyonu

Bilimsel görüntülere dalgaboyu ataması yapmak için, Thoryum-Argon lambası atlasları TÜBİTAK’ın <http://www.tug.tubitak.gov.tr> adresinden elde edildi. Bu atlaslar yardımıyla her bir pixelin hangi dalgaboyuna denk geldiği belirlenir. Bu sayede bilimsel tayfin gözlemi sırasında kullanılan (bu çalışma için Th-Ar lambası) lambanın



Şekil 3.1 HD 58552 yıldızının 5.tayfsal sırasındaki Th-Ar dalgaboyu kalibrasyonuna yönelik bir örneği.

içindeki gazın verdiği çizgi şiddetleri bu atlas ile karşılaştırılarak, ön indirgemesi yapılmış olan yıldız görüntüsünün her bir tayfsal sırasına çizgi ataması yapılır.

Yıldızın bilimsel tayfindan 71 tayfsal sıra (order) elde edildikten sonra her bir sıranın çizgi ataması echelle paketinde bulunan ‘ecidentify’ taskı kullanılarak yapıldı. Ardından, dalgaboyu ataması yapılan lambda tayfi referans alınarak, yıldızın gözlemsel tayfına dalgaboyu kalibrasyonu gerçekleştirildi.

3.1.5 Dikine hız ve Doppler düzeltmesi

Yıldızın Güneş merkezli (heliocentrik) dikine hız düzeltmesi için ‘rvidlines’ taskı ve Doppler kayma miktarını düzeltmek için ise ‘dopcor’ taskı kullanıldı. Tüm bu işlemlerden önce taskların çalışabilmesi için görüntü başlıklarında gözlem zamanı ‘ut’ olarak değiştirildi. Dikine hız ölçümünü elde edebilmek için, Ti, Fe ve Cr çizgileri seçilerek çizgilerin merkezi dalga boyları belirlendi. Belirlenen çizgilerin gözlemsel dalgaboyu (λ_{gz}) ve laboratuvar dalgaboyu (λ_{lab}),

$$V_r / c = (\lambda_{gz} - \lambda_{lab}) / \lambda_{lab}$$

bağıntısı ile gösterilen Doppler yasası denkleminde kullanıldı. Denklemden c ışık hızını temsil edip, değeri $299792.458 \text{ kms}^{-1}$ 'dir. Tanımlanan Ti, Fe ve Cr çizgilerinden ortalama dikine hız değerleri ölçüldükten sonra, yukarıda belirtilen tasklar kullanıldı. Ardından Güneş merkezli düzeltme ve hesaplanmış olan Doppler kayması kullanılarak tayfların gereken dikine hız düzeltilmesi yapıldı. Bu işlemler sayesinde gözlem çizgileri, laboratuvar dalgaboyu seviyesine kaydırılmış oldu. V_{helio} (Güneş merkezli dikine hız) $-20.03 \pm 2 \text{ kms}^{-1}$ olarak elde edildi.

3.1.6 Bilimsel tayfın kozmik ışınlardan temizlenmesi ve normalizasyonu

İndirgemeleri ve dalgaboyu kalibrasyonları yapılmış tayfları kozmik ışın kirliliğinden temizlenmek için 'splot' taskı kullanıldı ve 71 tayfsal sıranın her biri kozmik ışınlardan temizlendi.

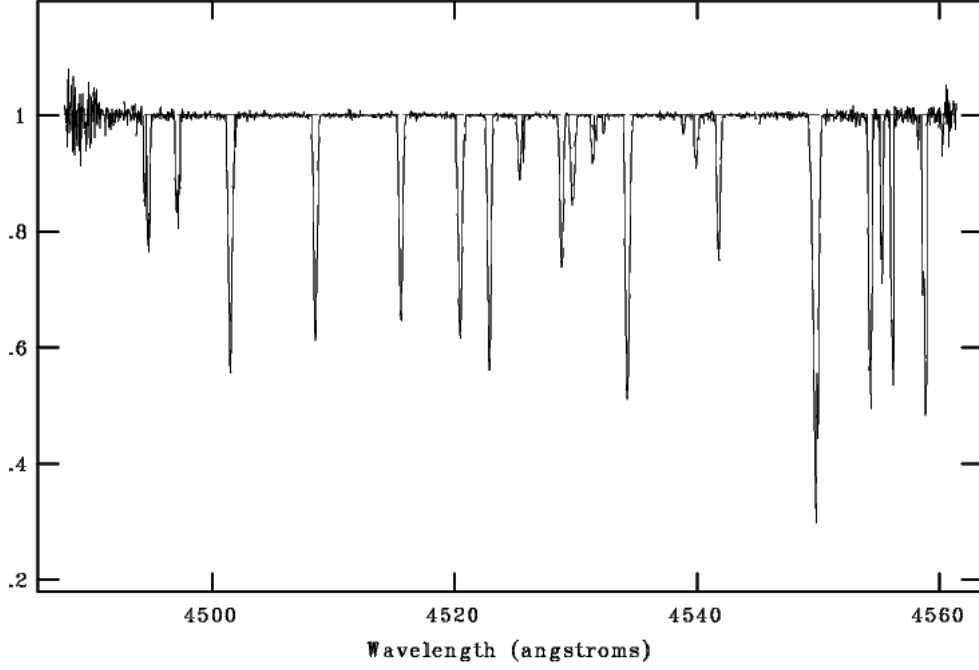
Tayflarda oluşan çizgilerin şiddeti, süreklilikten alınan enerji olduğu için tayfın sürekliliğinin doğru şekilde belirlenmesi gerekir. Eşdeğer genişlik ölçümlerinin hassas şekilde yapılabilmesi, herşeyden önce süreklilik seviyesinin doğru bir biçimde belirlenebilmesine bağlıdır. Bilimsel tayf, sürekliliğe göre normalize edildikten sonra çizgilerin eşdeğer genişliklerinin ölçümü için hazır hale gelmektedir. HD 58552 yıldızı tayfının normalizasyonu, 'guiapps' paketi içinde bulunan 'spectool' taskı kullanılarak gerçekleştirildi.

Şekil 3.2 ve 3.3'te ön indirgeme ve Doppler düzeltmesi yapılmış, kozmik ışınlardan temizlenmiş ve normalize edilmiş tayfların 41. ve 52. tayfsal sırası gösterilmiştir.

3.2 Atmosfer Modeli, Sentetik Tayflar ve Eşdeğer Genişlik Ölçümü

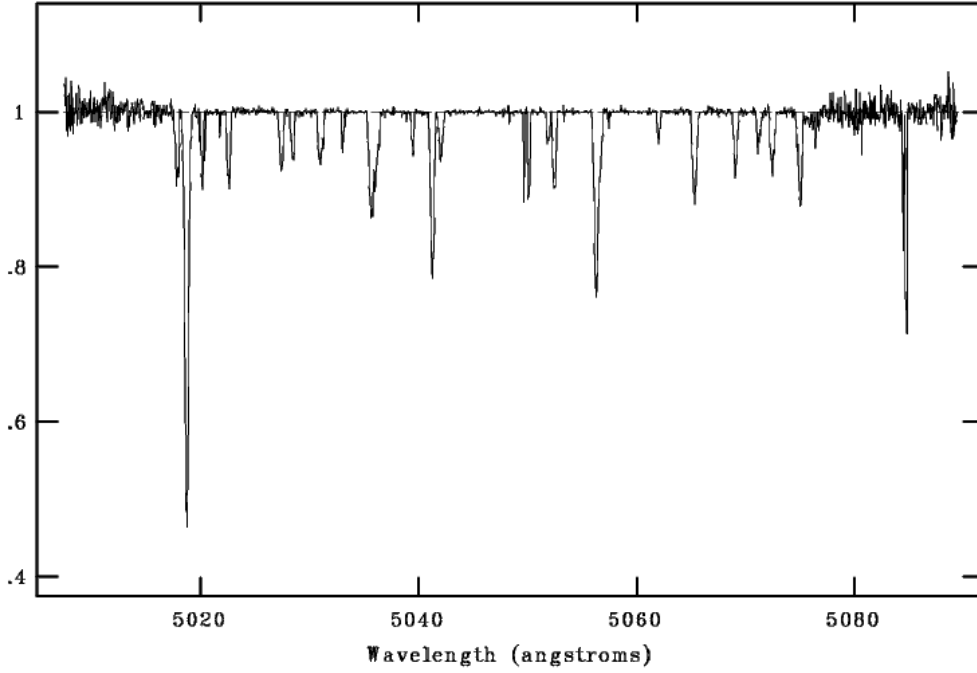
Eşdeğer genişlik ölçümüne başlamadan önce, fotometrik kalibrasyonlardan hesaplanan atmosfer parametrelerinin aralığına uygun olarak, etkin sıcaklık 8250-9150 K ve yüzey çekim ivmesi 4.0-4.5 dex aralığında atmosfer modelleri üretildi. Atmosfer modelleri ATLAS9 Kurucz ODFNEW/NOVER modelleri kullanılarak, Kurucz kodları (1993b, 2005), SYNTH3 kodları (Kurucz 1993a; Sbordone vd. 2004) ve Synth3 (Kochukhov 2018) kodu yardımıyla elde edildi. Sentetik tayf üretebilmek için VALD çizgi listeleri (Piskunov vd. 1995; Kupka vd. 1999) kullanıldı. Yıldızın 3900-8000 Å

NOAO/IRAF V2.14.1 sengulyalgin@sengulyalgin-K53SJ Sun 22:22:26 07-May
[052_2[* ,1,1]]: HD58552 4500. ap:52 beam:106

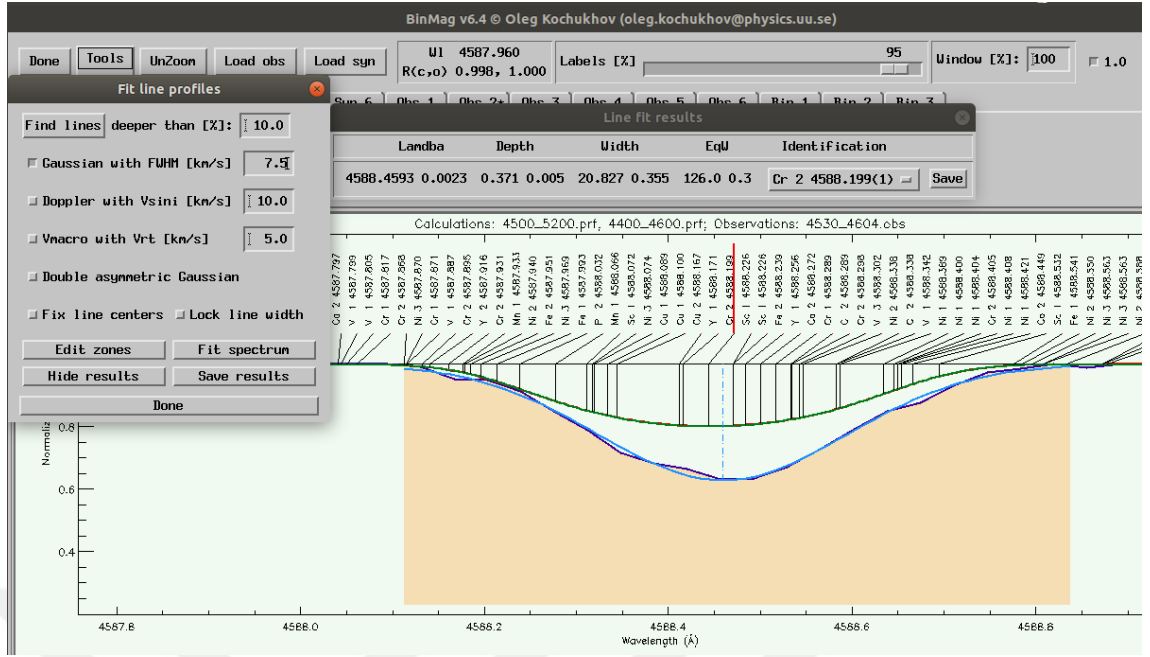


Şekil 3.2 HD 58552 yıldızının normalizasyonu yapılmış 52. tayfsal sırası.

NOAO/IRAF V2.14.1 sengulyalgin@sengulyalgin-K53SJ Sun 22:19:08 07-May
[041_2[* ,1,1]]: HD58552 4500. ap:41 beam:95



Şekil 3.3 HD 58552 yıldızının 41. tayfsal sıranın normalizasyonu.



Şekil 3.4 BINMAG program ile çizgi tanısı ve eşdeğer genişlik ölçümü. Cr II çizgisi için; alttaki mavi çizgi fit edilmiş gözlemsel tayfı, üstteki yeşil çizgi sentetik tayfı temsil etmektedir.

dalgaboyu aralığını kapsayan tayfı için, 20 nm aralıklarla bölünmüş sentetik tayflar yine ATLAS9 modelleri, SYNTHE ve synth3 kodları kullanılarak oluşturuldu.

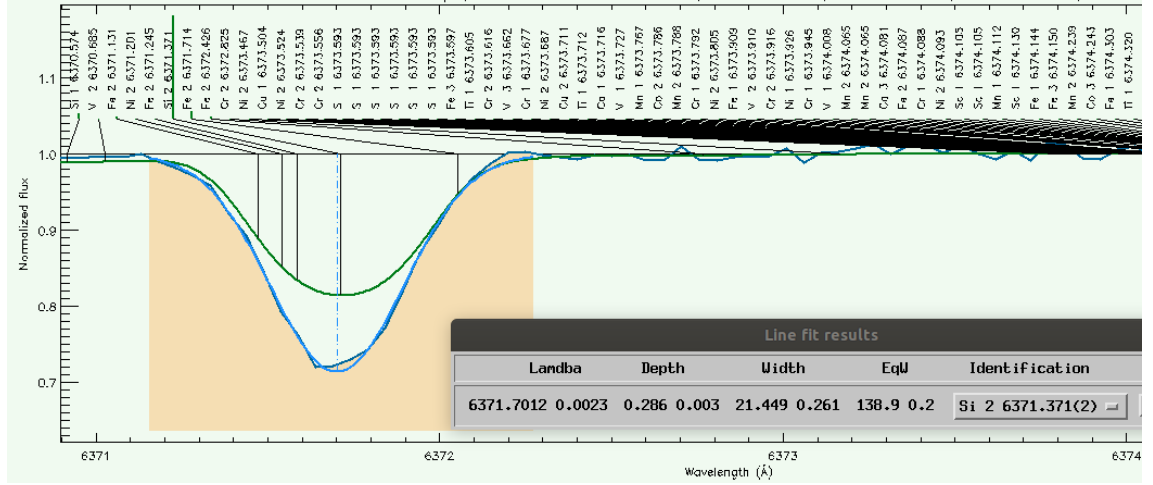
Bir IDL görselleştirme programı olan BINMAG6 (Kochukhov 2018) kullanılarak, eşdeğer genişlik ölçümü yapıldı. Ölçüm yapılırken örtüşme olmamış tüm soğurma çizgileri dikkate alındı. Ardından her bir atomik türe yönelik laboratuvar dalgaboyu ve eşdeğer genişlik ölçüm değerlerini içeren girdi dosyaları oluşturuldu.

3.3 HD 58552 Yıldızının Atmosfer Parametreleri

3.3.1 Fotometrik yöntem

Yıldızların fotometrik gözlem süreçlerinde, geniş band aralığı için Johnson, dar band aralığı için ise Geneva ve Strömgren fotometrik sistemleri tercih edilmektedir. Fotometrik gözlemlerde dar band aralığı kullanmak, yıldızın atmosfer parametrelerine dair daha ayrıntılı bilgi elde edilmesini sağlar.

Strömgren (1963); Crawford ve Mander (1966) tarafından tanımlanmış olan $uvby\beta$



Şekil 3.5 BINMAG program ile çizgi tanısı ve eşdeğer genişlik ölçümü. Si II çizgisi için; üstteki yeşil çizgi sentetik tayfı, alttaki mavi çizgi ise fit edilmiş gözlemsel tayfı temsil etmektedir.

sistemi; F,A ve B yıldızları için yüzey çekim ivmesi, metalisite ve etkin sıcaklık gibi yıldız parametrelerini fotometrik olarak belirlemeye yarayan güçlü bir araçtır. uvby β sisteminin nicel kullanımı üç farklı sıcaklık aralığı içerir;

i) $T_{et} \leq 8500$ K için;

β parametresi, H β 'nın eşdeğer genişlik ölçüsüdür ve sıcaklık belirlemeye yarayan bir parametredir, c0 ise yüzey çekim ivmesini hesaplamaya yarar.

ii) $8500 \text{ K} \leq T_{et} \leq 11000$ K için;

β parametresi hem yüzey çekim ivmesini hem de sıcaklığı hesaplarken gerekmektedir.

iii) $T_{et} \geq 11000$ K için;

β parametresi yüzey çekim ivmesini hesaplar, c0 ya da (u-b) parametresi ile sıcaklık hesaplanır.

HD 58552 yıldızının fotometrik atmosfer parametrelerinden log g ve T_{et} değerleri, çizelge 3.2' de gösterilen renk indeksleri kullanılarak, TempLogG programında Geneva, Strömgren ve Johnson parametreleri ile hesaplandı (çizelge 4.1). Hesaplanan değerlerden yola çıkarak başlangıç atmosfer parametreleri olarak $T_{et} = 8750$ K ve log $g = 4.2$ dex seçildi. Bu seçim yapılmadan önce fotometrik veri kataloğunda

(<http://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR>) yayınlanan tüm $\log g$ ve T_{et} değerleri incelenip karar verilen değerler buna göre dikkate alındı.

Çizelge 3.2 HD 58552 yıldızının farklı kaynaklardan elde edilen fotometrik parametreleri ve renk indeksleri.

Parametre	bulgular	kaynak
(Geneva) renk indexleri	(U-B1), (U-B2), (V1-G), (B2-G) 0.610, 0.055, -0.484, -0.586	Frauard, 2015
B	6.443	Høg, 2000
V	6.377	Høg, 2000
(Strömgren) renk indexleri	(b-y), (m1), (c1), (HBeta) 0.032, 0.194, 1.003, 2.899	Pasinetti, 2001

3.3.2 Tayfsal yöntem

i. Mikrotürbülans hızı

Mikrotürbülans hızını hesaplamak için geleneksel olarak Fe I çizgilerinden elde edilen eşdeğer genişliğin bolluk ile ilişkisi kullanılır. Eşdeğer genişliğe (EW) göre bolluk trendinin değişmediği, diğer bir deyişle EW-bolluk grafiğinde eğimin sıfıra en yakın olduğu bölge dikkate alınır ve bu bölgedeki mikrotürbülans değeri yıldızın mikrotürbülans hızı olarak kabul edilir. Bu çalışmada başlangıç mikrotürbülans hızı serbest parametre olarak alınıp, sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi sabit tutularak mikrotürbülans değerleri seçildi. Eğimin sıfıra en yakın olduğu değere ulaşana kadar Fe I çizgilerinden hesaplanan bollukların eşdeğer genişlik ile ilişkisi kullanıldı.

ii. Etkin sıcaklık

Bir element aynı iyonlaşma enerjisine sahip olabildiği halde farklı uyartılma potansiyelleri taşıyabilmektedir. Elektronun bulunduğu yörüngedeki enerji seviyesinden daha üst bir enerji seviyesine geçme (uyartılma) durumunda, aynı enerji seviyesindeyken birbirinden farklı elektronik konfigürasyonlara sahip olabilmektedir (örneğin bir elektron 3s seviyesinden 4s seviyesine de geçebilir 4p seviyesine de geçebilir).

Bir element elektronu için, aynı enerji seviyesine geçişlerde birbirinden farklı elektronik konfigürasyonlara sahip olmak, farklı enerji değerleri göstermekle eş anlamlıdır. Dolayısıyla aynı uyarılma geçişlerinde farklı elektronik konfigürasyonlar birbirinden farklı enerji çıktısı verir. Çizgilerde soğurmanın olduğu atmosfer katmanındaki sıcaklığın atomun uyarılması ile olan ilişkisi Boltzman denklemi ile açıklanır.

Atomik uyarılma potansiyeli yönteminde, birbirinden farklı uyarılma potansiyeli taşıyan çizgilerin hesaplanmış bolluklara göre en fazla trend gösterdiği bölge dikkate alınır ki bu bölgedeki sıcaklık, uyarılma potansiyelinin bolluğa göre değişiminde eğimin sıfıra en yakın olduğu değere sahiptir. Buradan elde edilen sıcaklık yıldızın sıcaklığı olarak kabul edilir. Bu çalışmada bolluk ve uyarılma potansiyeli ilişkisine yönelik olarak en fazla çizgi sayısına sahip olan Fe I çizgileri kullanıldı ve bu iki ilişki arasında trendin değişmediği bölgedeki sıcaklık değeri yıldızın etkin sıcaklığı olarak kabul edildi.

iii. Yüzey çekim ivmesi

İyonizasyon dengesi yönteminde bir elementin ardışık oluşan iki iyonizasyon seviyesindeki çizgilerinden hesaplanmış bollukların aynı değere denk gelmesi durumu Saha Denklemi (Saha, 1925) ile açıklanır. İyonlaşmadan ileri gelen bu denge durumu yıldızın atmosferindeki basıncın değerine bağlı olduğundan, yıldız atmosferlerinde ışınım basıncı, diğer bir değişle yüzey çekim ivmesi hesaplamalarında kullanılır. Bu durumda, farklı $\log g$ değerleri için örneğin, Fe I ve Fe II bollukları ayrı ayrı hesaplanır ve bolluk değerlerinin birbirine eşitlendiği $\log g$ değeri, o yıldızın nihai $\log g$ değeri olarak kabul edilir. Bu çalışmada yıldızın $\log g$ değerini iyonizasyon dengesi yöntemiyle hesaplamak için Fe I/Fe II çizgileri kullanıldı.

3.3.3 Hidrojen çizgilerinin profilleri

Yıldızın atmosfer parametrelerini belirleme yöntemlerinden biri de Balmer çizgilerinin kanatlarını incelemektir (Mihalas, 1978). Balmer çizgilerinin kanatları sıcaklığa ve/veya $\log g$ değerlerine duyarlı olduğu için, uygun sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerleriyle oluşturulan sentetik tayflarla yapılan karşılaştırma, o yıldızın etkin

sıcaklığına ve yüzey çekim ivmesine hemen cevap verebilmektedir. Bu yöntem, A-tayf türü ve daha soğuk yıldızlar için önemli bir sıcaklık belirteçidir.

Hidrojen çizgilerin maksimum derinliğe ulaştığı 8000 K civarı sıcaklıklarda, kanatlar hem $\log g$ hem de sıcaklığa duyarlıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise $\log g$ ye duyarlılık halen devam ederken, sıcaklığa duyarlılık azalır. 8000 K'den daha soğuk etkin sıcaklığa sahip olan yıldızlarda sıcaklığa duyarlılık artarken, basınca duyarlılık azalmaktadır. Çok daha yüksek sıcaklıklarda ($T_{et} > 11000$ K) ise $\log g$ sıcaklıktan daha duyarlıdır. Bunun nedeni, hidrojen elementinin büyük çoğunluğunun iyonlaşmış olması ve sıcaklık artışına artık tepki veremez hale gelmesidir (Fossati 2009). Balmer düşmesinin erken A-türü yıldızlarında maksimum derinlikte olmasının nedeni de bununla açıklanmaktadır. Yani, hidrojen elementinin uyarılmış elektronları bir eşikten sonra atomundan ayrılır ve artık hidrojen sadece protondan ibarettir (Şekil 1.2).

3.3.4 Kimyasal bolluk analizi

Tayfsal olarak belirlenen atmosfer parametreleri değerleri ile ATLAS9 ve WIDTH9 (Castelli, 2005b) kodları kullanılarak HD 58552 yıldızı için uygun atmosfer modeli oluşturuldu. Bütün elementler için ayrı ayrı, her bir çizginin eşdeğer genişliğinin ve merkezi dalgaboyu değerlerinin bulunduğu girdi dosyaları oluşturuldu. WIDTH9 programına okutulan bu girdi dosyaları ile yıldızın kimyasal bolluk analizi gerçekleştirildi. Elde edilen bolluklar Güneş bollukları ile karşılaştırılarak yıldızın kimyasal sınıfı tartışıldı. Girdi dosyaları, her atomik tür (iyon) için $\log gf$ (osilatör şiddeti), çizgideki enerji seviyesinin alt ve üst sınırı, iyon, elektron konfigürasyonu, çizgilerin laboratuvar dalgaboylarını ve çizgilerin eşdeğer genişliklerini içermektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Fotometrik Yöntemlerle Atmosfer Parametreleri

Yıldızın T_{et} ve $\log g$ değerlerini fotometrik yöntemler ile hesaplamak için renk indeksleri kullanıldı. Johnson, Strömgren ve Geneva fotometrisi ölçümleri yapıldı, elde edilen sonuçlardan başlangıç atmosfer model parametreleri için en uygun değerler seçildi. Çizelge 4.1’de yıldızın TempLogG ile elde edilen fotometrik değerleri listelendi. Geniş band aralığına sahip olduğu için Johnson fotometrisinden elde edilen sıcaklık değeri ortalamaya katılmadı. Strömgren ve Geneva fotometrisinde elde edilmiş T_{et} değerlerinin ortalaması 8754 K olarak hesaplandı. Fotometrik bulgularda en fazla tekrarlanmış $\log g$ değerinin ise 4.2 dex olduğu belirlendi. Bu nedenle $\log g$ için ortalama yerine median değeri seçildi.

Çizelge 4.1 HD 58552 yıldızının Strömgren (Moon, Natiwotzki, Balona, Ribas), Johnson ve Geneva filtreleri ile elde edilen T_{et} ve $\log g$ değerleri.

	Moon(1985)		Natiwotzki (1993)		Balona (1994)	Ribas (1997)	Johnson	Geneva
T_{et} (K)	8876	8469			8632	8873	8674	8924
$\log g$ (dex)	4.217	4.092			4.244	4.222	4.229	4.667

4.2 Tayfsal Yöntemlerle Atmosfer Parametreleri

Bir yıldızın atmosfer parametrelerinden makro türbülans (V_{mac}) değerinin ve dönme hızının (v_{sini}) artması çizgi genişlemesine neden olur. Ancak çizgi genişlerken, derinliği de azaldığı için eşdeğer genişlikliği etkilemez. Diğer yandan etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi ve elementlerin bolluk miktarı eşdeğer genişliği etkilemektedir. WIDTH9 kodu, atmosfer parametrelerindeki değerlere göre, EW değişkenini büyüme eğrisi denklemi (Pannekoek ve van Albada, 1946) ile kullanarak, iterasyon yöntemi ile bolluk değerini kalibre edebilmektedir.

Çizelge 4.2 HD 58552 yıldızının tayfsal yöntemle hesaplanan atmosfer parametreleri.

T_{et} (K)	9000 ± 150
$\log g$ (dex)	4.4 ± 0.1
ξ (kms ⁻¹)	3.2 ± 0.5

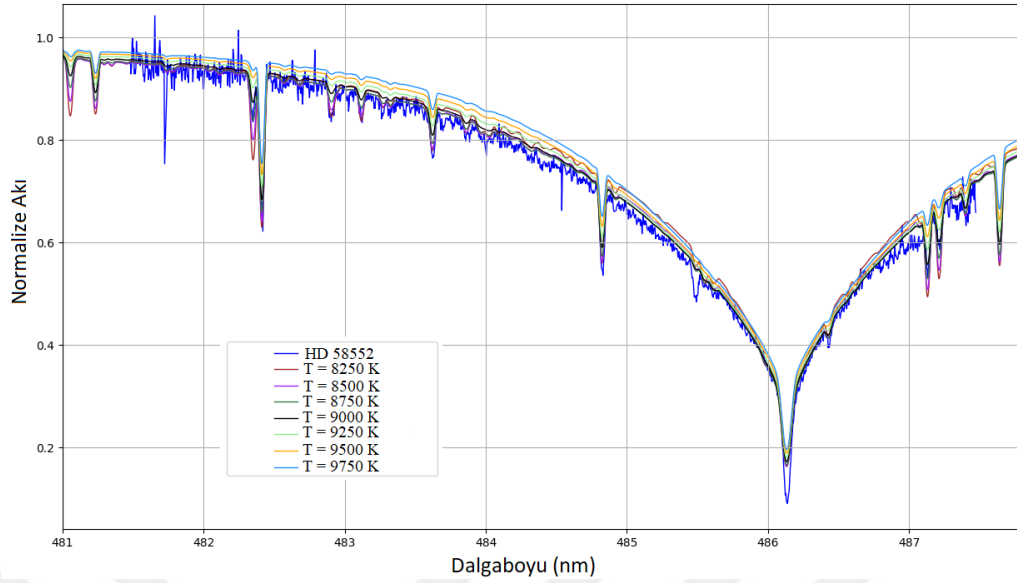
Yıldızın mikrotürbülans hızı, yüzey çekim ivmesi ve etkin sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterir, ancak çizgi genişlerken derinlik azaldığı için eşdeğer genişliği değiştirmeye olan katkısı yok denecek kadar azdır.

Bu çalışmada, fotometrik bulgularla elde edilmiş T_{et} ve $\log g$ değerleri Balmer çizgileri ile kontrol edildikten sonra, demir çizgilerinden ölçülmüş eşdeğer genişlik değerleri ATLAS9 ve WIDTH9 kodlarına uyarlandı. $T_{et}= 8750$ K ve $\log g=4.2$ dex değerleri tayfsal yolla atmosfer parametrelerini hesaplamak için başlangıç atmosfer parametreleri olarak belirlendi.

4.2.1 Balmer çizgileri ile ön analiz

Fotometrik yöntemle elde edilmiş olan atmosfer parametrelerini denetlemek için ATLAS9 ve SYNTHE (Kurucz 1993a; Kurucz 2005) kodu kullanılarak atmosfer modelleri oluşturuldu. Şekil 4.1’de $\log g=4.2$ değerini sabit tutarak, 8250 K’den 9750 K’e kadar değişen farklı T_{et} değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\beta$ çizgi profilleri, gözlemsel $H\beta$ çizgi profili ile karşılaştırıldı. Şekil 4.2’de $H\beta$ ’nın sol kanadında görülen çizgi profilleri, yıldızın etkin sıcaklığının 9250 K’den büyük sıcaklık değerlerinde uygun çakışma olmadığını göstermektedir. Diğer yandan 8250 K gibi bir sıcaklığın, HD 58552 yıldızı için fazla düşük olduğu da görülmektedir.

Sıcaklık değeri 8750 K olarak sabit alındığında $H\beta$ çizgilerinin $\log g$ değişimine verdiği tepki şekil 4.3’de gösterildi. Çizgi profillerinin $\log g$ değişimine verdiği tepkinin, sıcaklığa verdiği tepkiden daha düzenli olan bu olgu şekil 4.4’de izlenebilmektedir. $H\beta$ ’nın sol kanadında görülen çizgi profillerinde, yıldızın $\log g$ değeri için 4.5’den büyük ve 4.2’den küçük değerlerde uygun çakışma olmadığı görülmektedir. Benzer analizler $H\alpha$ çizgi profilleri için yapıldığında ise $H\alpha$ ’nın sıcaklığa duyarlılığının $H\beta$ ’ya göre daha az olduğu Şekil 4.5-4.6’da görülmektedir. Ancak yıldızın

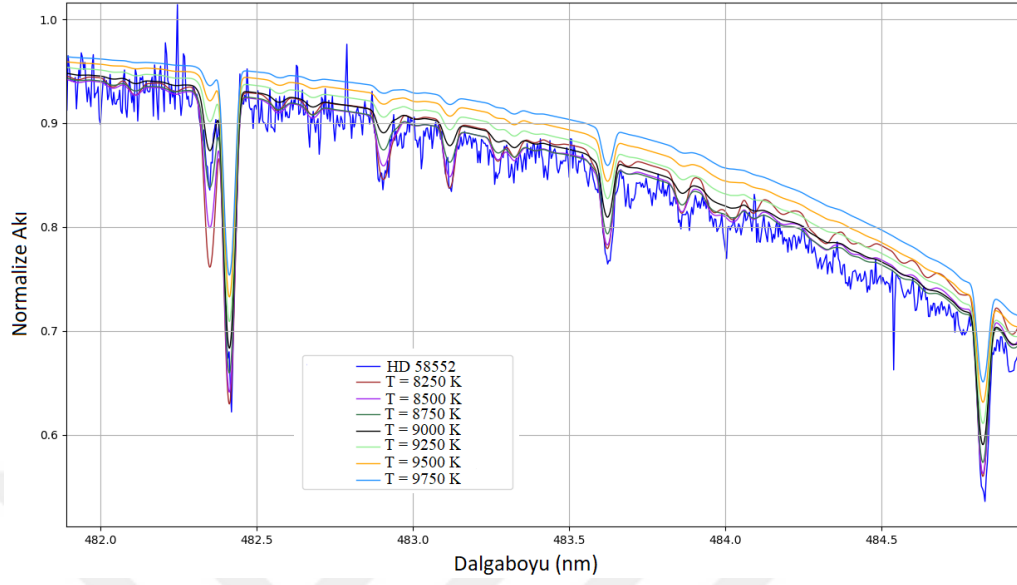


Şekil 4.1 $\log g=4.2$ değerini sabit tutarak, 8250 K'den 9750 K'e kadar değişen farklı T_{et} değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\beta$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\beta$ çizgi profili ile karşılaştırması.

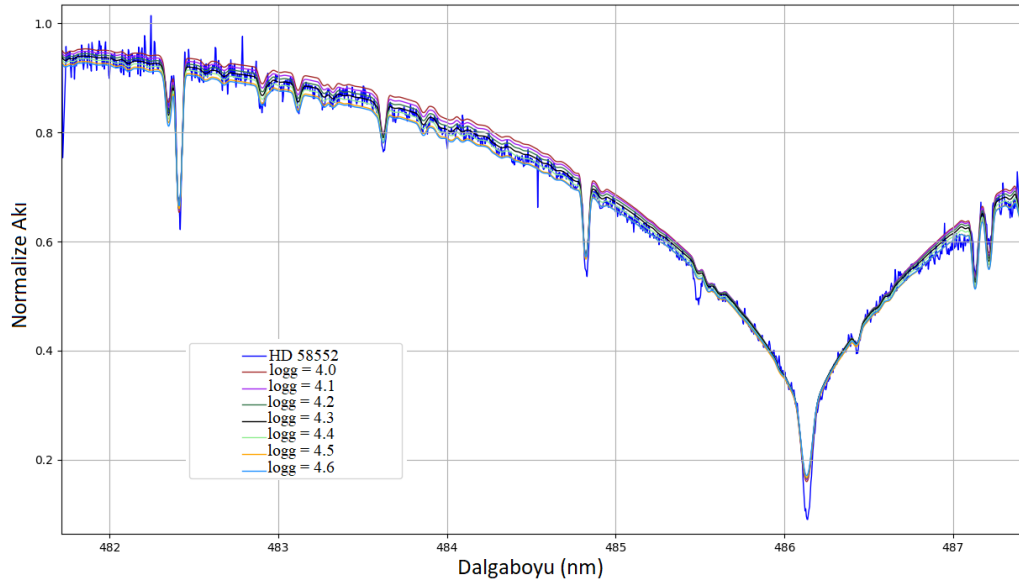
$H\alpha$ profilinin, Şekil 4.7-4.8'de, $\log g$ 'ye olan duyarlılığının sıcaklığa göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Bir yıldızın etkin sıcaklığı 8000 K'den yüksek olduğu zaman, Balmer çizgilerinin sıcaklığa duyarlılığı azalır. Bu nedenle etkin sıcaklık ölçümü için sayıca fazla olan metallerin uyartılma potansiyeli ve bolluk ilişkisi gibi modeller kullanmak daha sağlıklı sonuçlar verebilmektedir. Bu çalışmada Balmer çizgilerinin analizinden belirlenen 8500-9250 K aralığında öngörülen sıcaklık değerinden yıldızın nihai sıcaklığına ulaşabilmek için demir element bolluğunun uyartılma potansiyeli ilişkisi kullanıldı. Öngörülen sıcaklık aralığına yönelik uyumlu sonuçlar elde edildi. Yine demir elementinin ardışık iyonlaşma dengesi ilişkisinden elde edilen sonuç ile Balmer çizgilerinden öngörülen $\log g$ değeri aralığının uyumlu olduğu gözlemlendi.

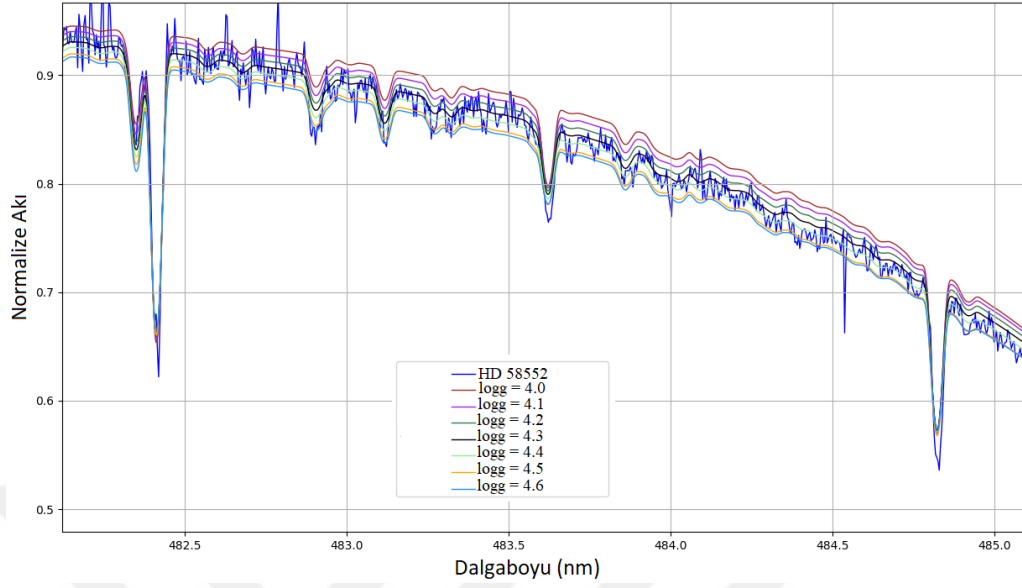
Yıldızın fotometrik olarak belirlenen atmosfer parametrelerinin Balmer çizgileri ile denetlenmesinin ardından nihai değerler, çizgi sayısı en yüksek olan demir elementini WIDTH9 koduna uyarlayarak hesaplandı. Demir çizgilerinden hesaplanan nihai atmosfer parametreleri değerleri çizelge 4.2'de gösterilmiştir.



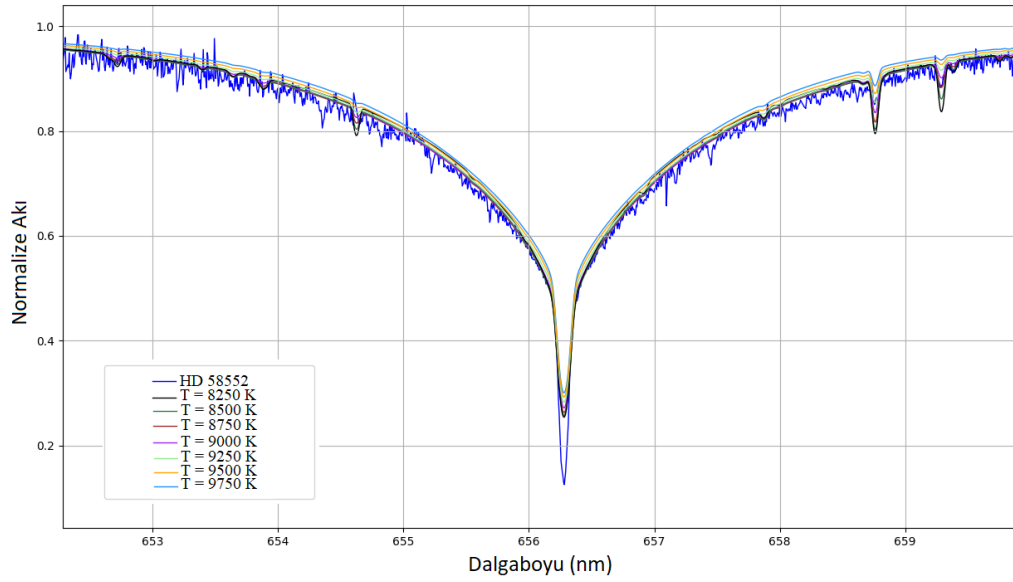
Şekil 4.2 $H\beta$ çizgi profilinin sol kanadı.



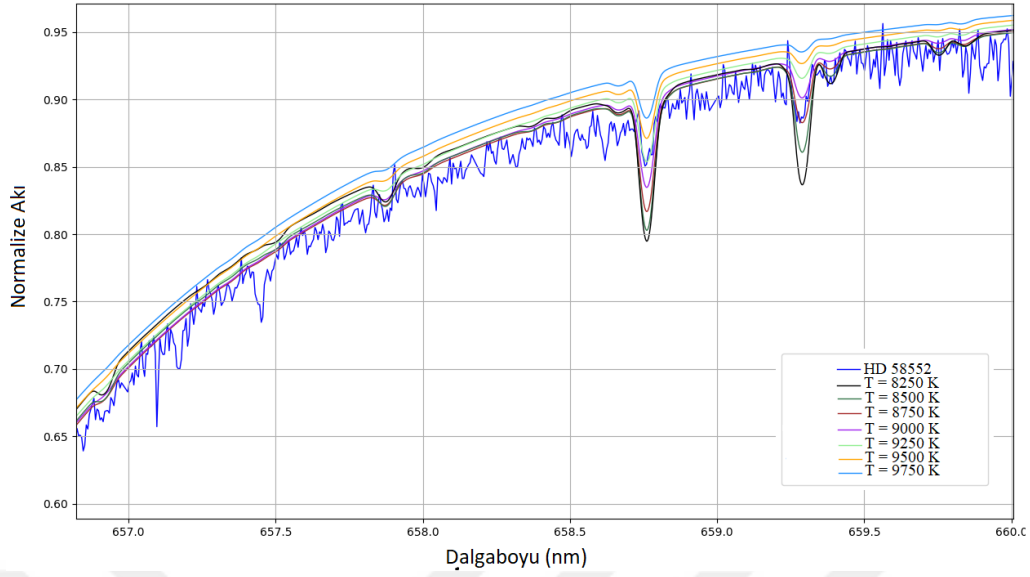
Şekil 4.3 T_{et} değerini sabit tutarak, 4.0'dan 4.6'ya kadar değişen farklı $\log g$ değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\beta$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\beta$ çizgi profili ile karşılaştırması.



Şekil 4.4 $H\beta$ çizgi profilinin sol kanadı.



Şekil 4.5 $\log g=4.2$ değerini sabit tutarak, 8250 K'den 9750 K'e kadar değişen farklı T_{et} değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\alpha$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\alpha$ çizgi profili ile karşılaştırması.



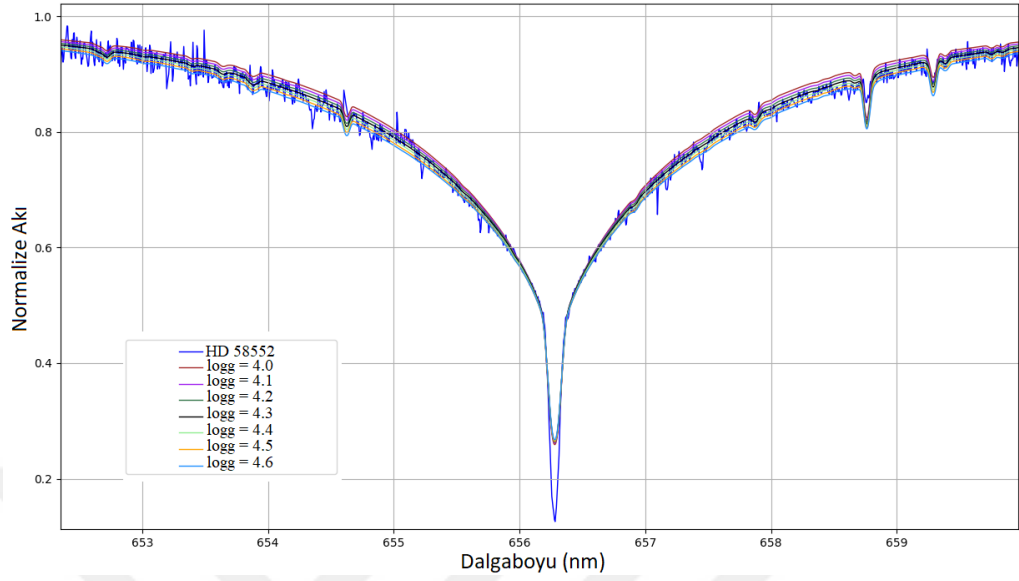
Şekil 4.6 $H\alpha$ çizgi profilinin sağ kanadı.

4.2.2 Mikrotürbülans hızı

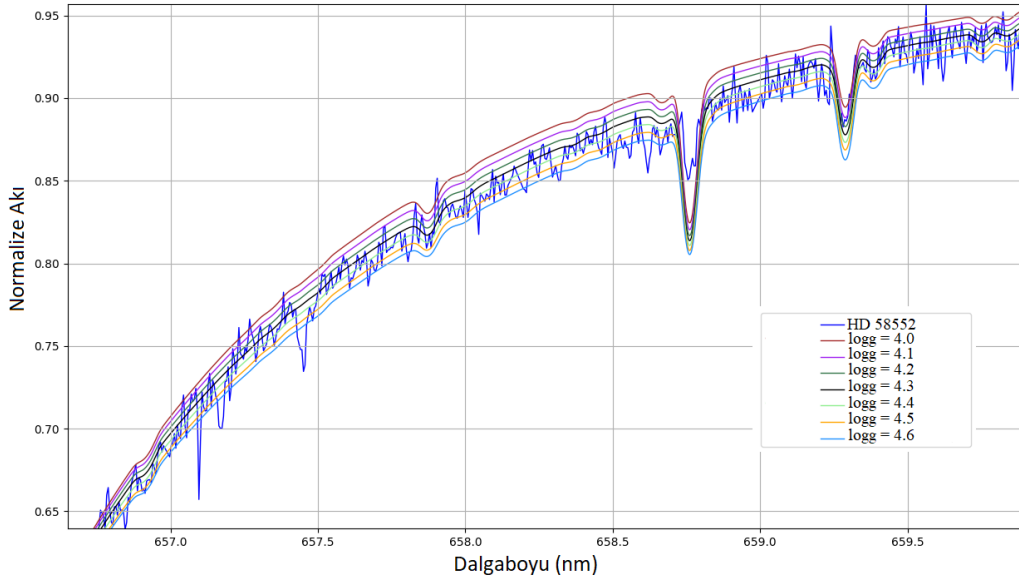
Yıldızın fotometrik değerleri kullanılarak belirlenen atmosfer parametreleri ile ATLAS9 kodu yardımı ile başlangıç atmosfer modeli oluşturuldu. Ölçüm için sayıca en fazla değere sahip olan Fe I çizgilerinin eşdeğer genişlik ölçümleri WIDTH9 koduna uyarlandı. Oluşturulan modelde mikrotürbülans (ξ) değerleri serbest parametre olarak alınıp sıcaklık ve $\log g$ değerleri sabit tutulup girdi dosyalarına eklendi. Seçilen farklı mikrotürbülans hızı değerlerine göre demir atomu çizgilerinden ortalama bolluk dağılımları ve bu dağılımların hata payı oluşturuldu. Eşdeğer genişliğe karşı bolluk grafiklerinden eğimin sıfıra en yakın olduğu grafikteki ξ ölçümü, başlangıç mikrotürbülans hızı olarak belirlendi. T_{et} ve $\log g$ değerlerinin de elde edilmesinin ardından, bu defa minimum aralıklarla seçilen ξ değerlerinden yine eğimin sıfıra en yakın olduğu değer nihai mikrotürbülans değer olan 3.15 kms^{-1} olarak kabul edildi. Sonuç olarak HD 58552'nin ξ değeri yaklaşık 3.2 kms^{-1} olarak hesaplandı (Şekil 4.9).

4.2.3 Etkin sıcaklık

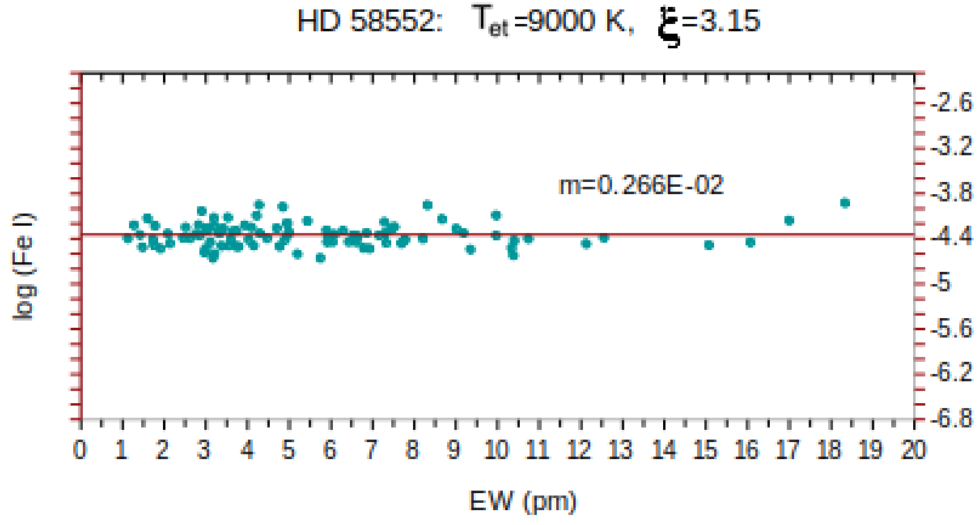
Yıldızın T_{et} değeri tayfsal olarak, bolluk değerinin uyarılma potansiyeliyle olan ilişkisiyle belirlendi. Fe I bolluğuna karşı uyarılma potansiyeli grafiklerinde, eğimin



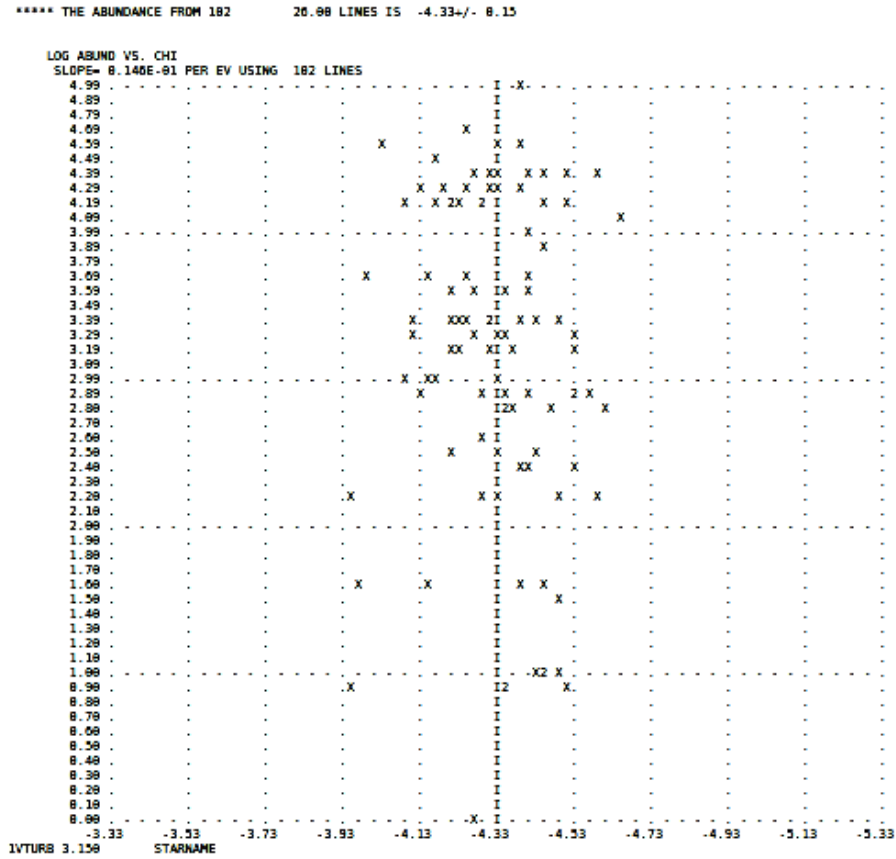
Şekil 4.7 T_{et} değerini sabit tutarak, 4.0'dan 4.6'ya kadar değişen farklı $\log g$ değerleri ile üretilmiş kuramsal $H\alpha$ çizgi profillerinin gözlemsel $H\alpha$ çizgi profili ile karşılaştırması.



Şekil 4.8 $H\alpha$ çizgi profilinin sağ kanadı.

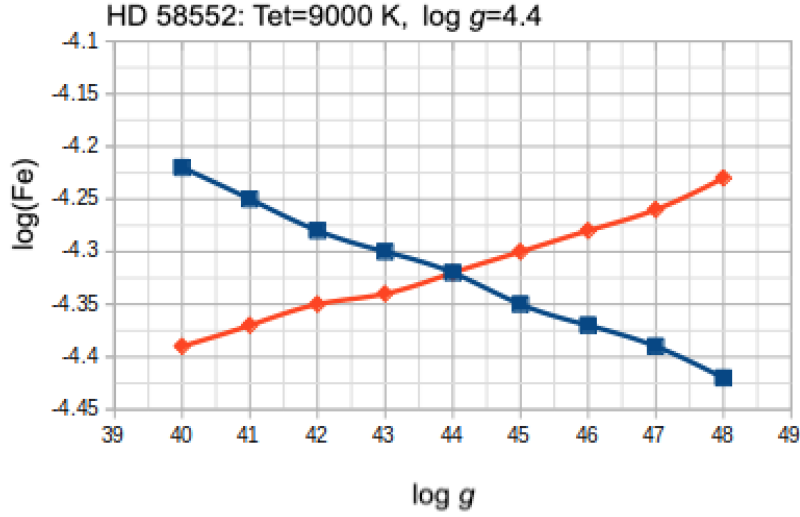


Şekil 4.9 HD 58552'nin mikrotürbülans hızının elde edildiği eşdeğer genişliğe (EW) karşı bolluk $\log(\text{Fe I})$ grafiği.



Şekil 4.10 Sıcaklığın elde edildiği uyartılma potansiyeline karşı demir bolluğu grafiği.

Yatay eksen demir bolluğu $\log(\text{Fe I})$, dikey eksen uyartılma potansiyeli. Grafik WIDTH9 kodları ile elde edilmiştir ve uyartılma potansiyelinin birimi eV'ur..



Şekil 4.11 Fe I/Fe II iyonizasyon dengesi ile $\log g$ belirlenmesi.

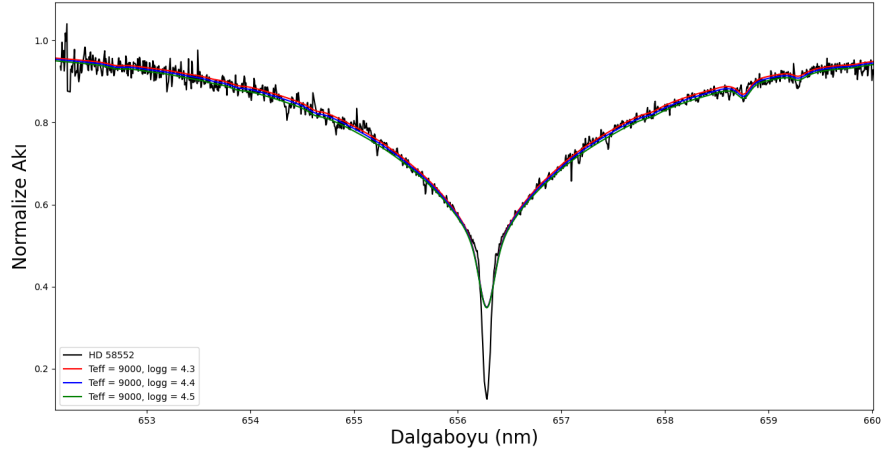
sıfıra en yakın olduğu standart sapma değerinin elde edildiği grafiğe ulaşılan kadar, küçük aralıklar (20-50 K gibi) verilerek farklı sıcaklıklarda atmosfer modelleri oluşturuldu. Elde edilen sıcaklık değeri, $H\alpha$ ve $H\beta$ çizgileriyle denetlendi.

4.2.4 Yüzey çekim ivmesi

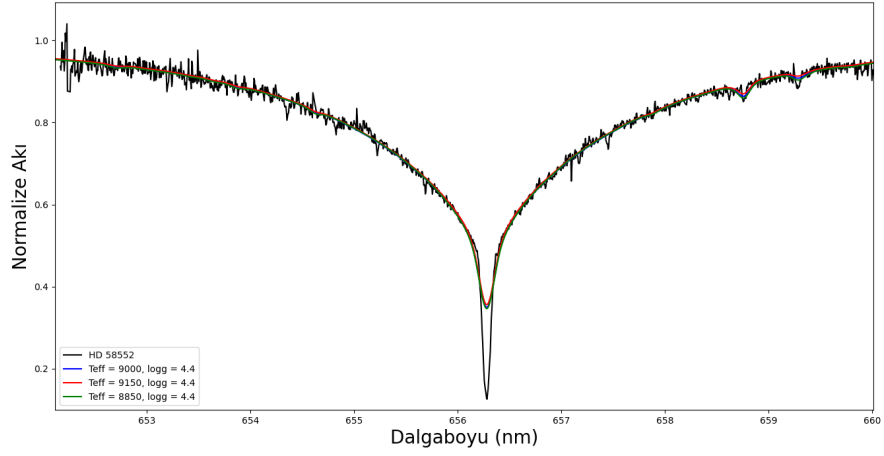
Ardışık iyonlaşma özelliklerine sahip çizgileri bulunan elementlerin (nötr demir; Fe I ve bir kere iyonlaşmış demir; Fe II gibi) iyonizasyon dengelerinden $\log g$ değeri hesaplanabilmektedir. Özellikle Fe, Ti ve Cr gibi metal çizgileri basınç değişimine karşı duyarlı olmakla birlikte A tayf türü yıldızlarda sayıca en fazla soğurma çizgilerine sahip olabilmektedir. HD 58552 yıldızının $\log g$ değerini hesaplamak için Fe I/Fe II çizgileri kullanıldı. Fe I bolluk değerinin Fe II bolluk değeri ile karşılaştırıldığı noktadan $\log g$ değeri ölçüldü. HD 58552 yıldızının $\log g$ değeri 4.4 dex olarak belirlendi (şekil 4.11).

4.3 Hidrojen çizgilerinin profilleri

HD 58552 yıldızının tayfsal olarak belirlenen atmosfer parametrelerini denetlenmek için $H\alpha$ ve $H\beta$ 'nın kuramsal tayfları oluşturuldu. Bunun için SYNTHE kodu kullanıldı. Oluşturulan sentetik tayflar, gözlemsel veriler ile karşılaştırılarak hesaplanan atmosfer parametreleri ile uyumlu olduğu gözlemlendi. Gözlemsel $H\alpha$ ve $H\beta$ profilleriyle

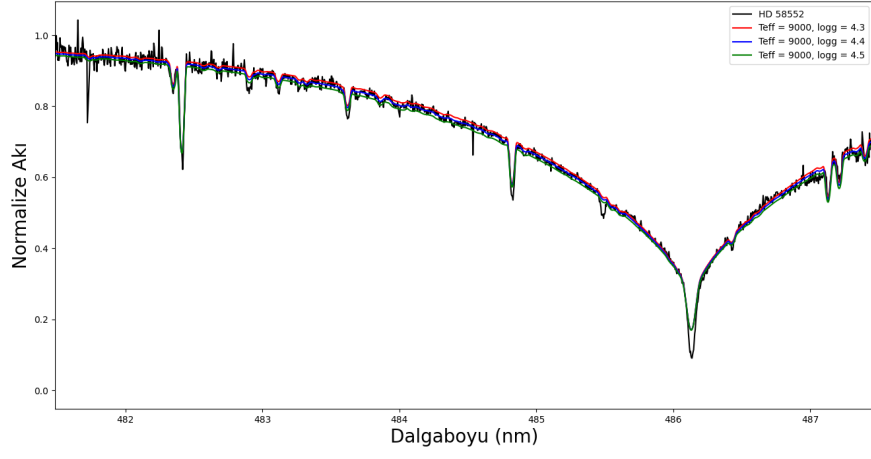


Şekil 4.12 HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\alpha$ profili karşılaştırması.

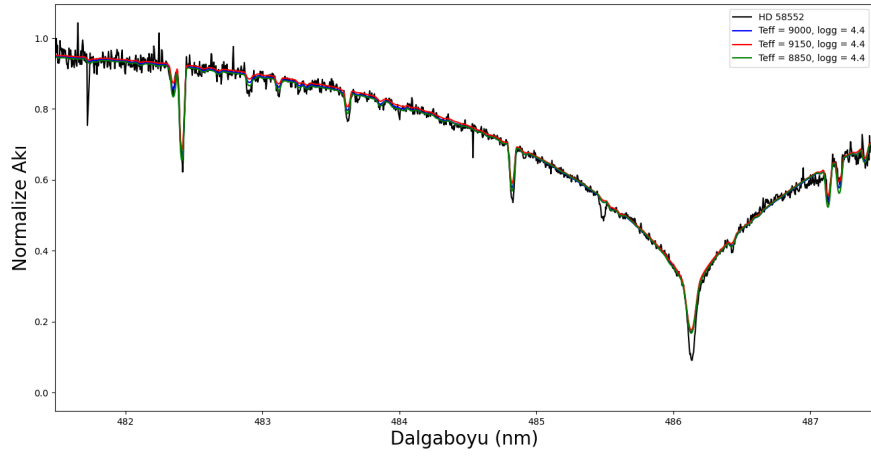


Şekil 4.13 HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\alpha$ profili karşılaştırması.

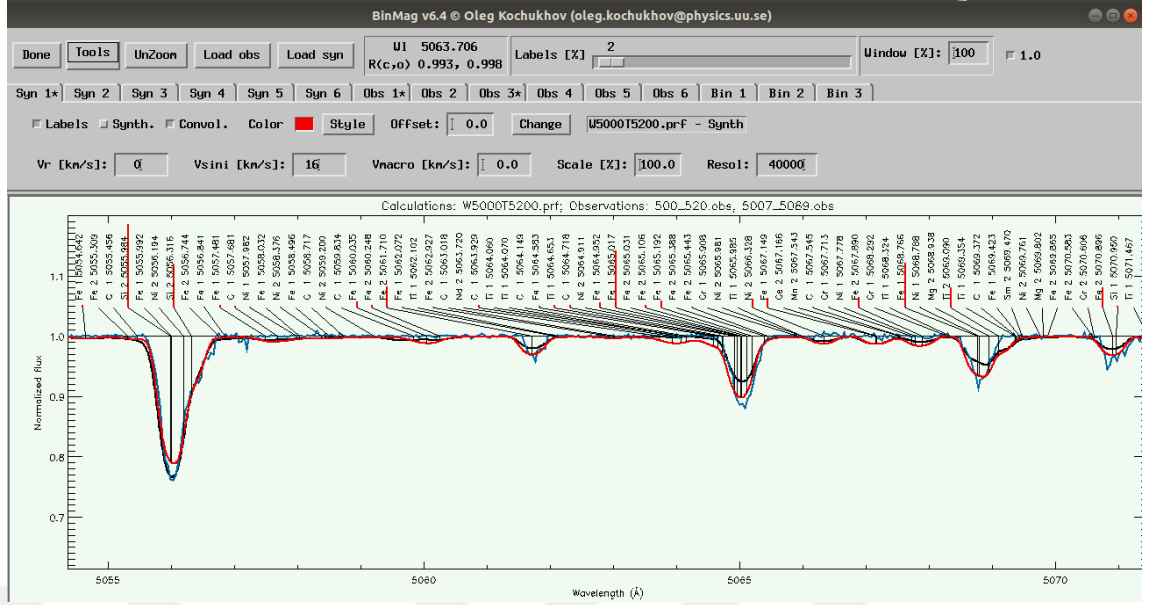
yapılan karşılaştırmalar; şekil 4.12 ve 4.13'de $H\alpha$, şekil 4.14 ve 4.15'de $H\beta$ gösterilmiştir.



Şekil 4.14 HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\beta$ profili karşılaştırması.



Şekil 4.15 HD 58552 yıldızının hata payı aralığında kuramsal $H\beta$ profili karşılaştırması.



Şekil 4.16 HD 58552 yıldızının vsini değerinin Binmag programında gösterimi. En alt satırda 2. panelde vsini değeri görüntülenmektedir.

4.4 Dönme Hızı

Yıldızın dönme hızı $16 \pm 2 \text{ kms}^{-1}$ olarak BinMag programıyla hesaplandı. Sentetik tayf ile gözlemsel tayf (özellikle Fe, Si, Ti ve Cr gibi sayıca fazla soğurma çizgileri ile) karşılaştırıldı. Dönme hızı uygun hale gelene kadar kuramsal tayfın dönme hızı BinMag programında en altta bulunan vsini paneli kullanılarak değiştirildi. Dönme hızı olan vsini değeri tayfsal parametrelerle elde edilen atmosfer modeli oluşturulduktan sonra da SYNTH kodu ile kontrol edildi. HD 58552'nin dönme hızı 16 kms^{-1} olarak belirlendi. Şekil 4.16'da BinMag ortamında yıldızın dönme hızını belirlemek için kullanılan gözlemsel tayf üzerindeki çizgilerden birkaçının sentetik tayf ile karşılaştırması gösterildi.

5. KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ

WIDTH9 kodundan hesaplanan bolluklar, çizgilerin ölçülen eşdeğer genişliği ile, hesaplanan eşdeğer genişlik ve bolluk arasındaki uyarlamaya dayanarak büyüme eğrisi denklemi ile belirlenmektedir.

Bu çalışmada, yıldızın tayfında yer alan C I, O I, Na I, Mg I, Si I, Si II, S I, Ca I, Ca II, Sc II, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Fe I, Fe II, Ni I, Sr II, Y II ve Ba II iyonlarının eşdeğer genişlik ölçümlerinden bolluk değerleri hesaplandı. Mn, Sc, V, Ba ve Y gibi tek sayılı proton taşıyan elementlerin elektronları çekirdekleriyle çok kutuplu etkileşime girerler ve bu durum söz konusu elementlerin ince yapı bölünmesi (hfs) sergilemelerine neden olur. Her ne kadar çizgi genişlemesine etkisi çok küçük olsa da eşdeğer genişlik ölçümlerinde hatalara sebep olabilir. Bu elementlere yönelik analizler için hfs sergileyen elementleri içeren Kurucz veri tabanı kullanılarak, SYNTHES kodu ile oluşturulan sentetik tayfların bolluk değerleri gözlemsel veriler ile örtüşme sağlanana kadar değiştirildi. Şekil 5.1'de Mn elementine yönelik, Şekil 5.2-5.3 ve 5.4'de ise Sc elementine yönelik oluşturulan sentetik tayfların gözlemsel tayf ile karşılaştırması gösterildi.

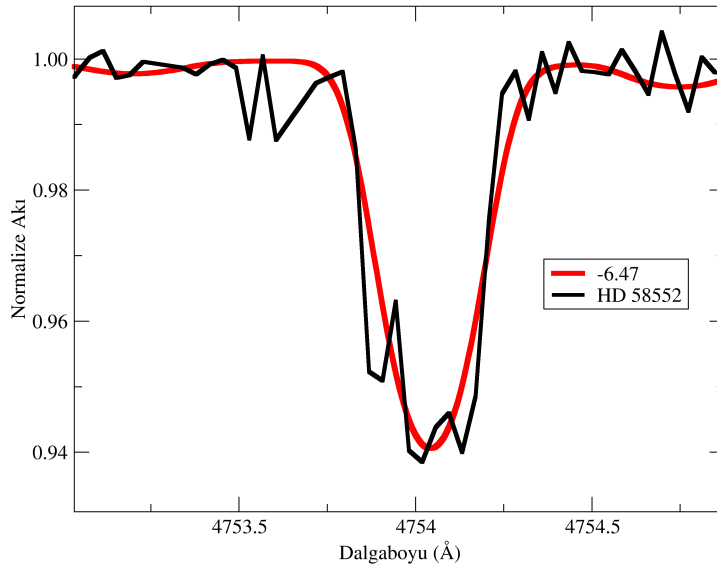
Bölüm 5'de bulunan çizelgeler WIDTH9 ile hesaplanan bollukları içermektedir ($\log \varepsilon = \text{WIDTH9 ile hesaplanan bolluk} + 12.04$). Metaller (X) olarak adlandırılan H ve He dışındaki tüm elementlerin bolluğu, $\log(X(\text{element})) - \log(X(\text{H} + \text{He}))$ şeklinde tanımlanır. Bu eşitlik genellikle literatürde kullanılan "geleneksel" ölçekten farklıdır; burada kullanılan ölçek;

$$\log(X(\text{element})) - \log(X(\text{H})) + 12$$

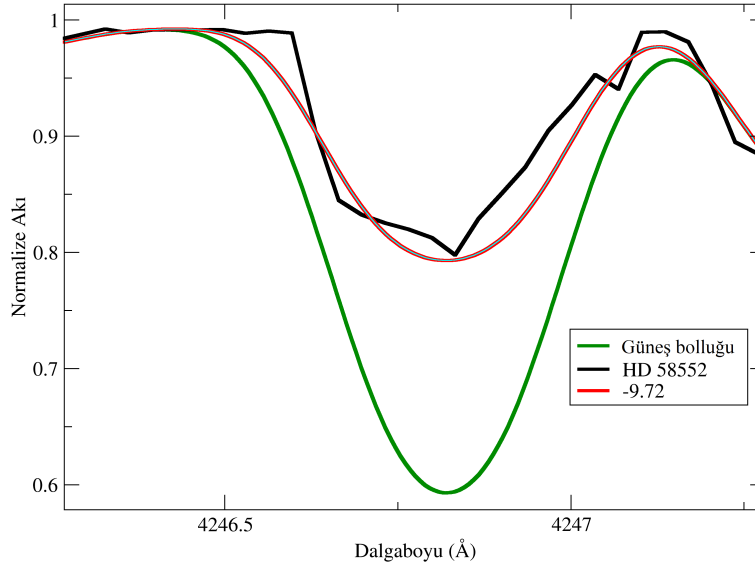
şeklinde dir. Mevcut hidrojen ve helyum Güneş bolluklarıyla birlikte, WIDTH9 kodu;

$$(\log \varepsilon) \text{ Bolluk}(\text{geleneksel}) = \text{Bolluk}(\text{Kurucz}) + 12.04$$

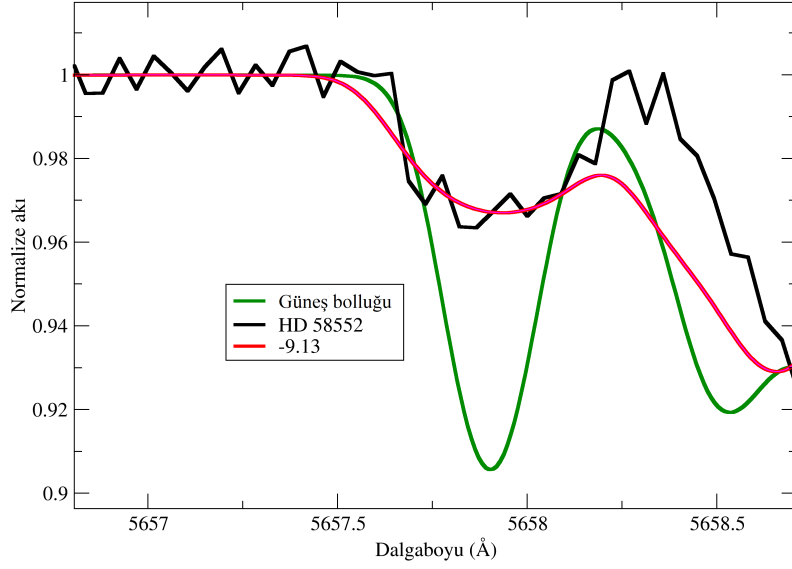
ölçeğini kullanmaktadır.



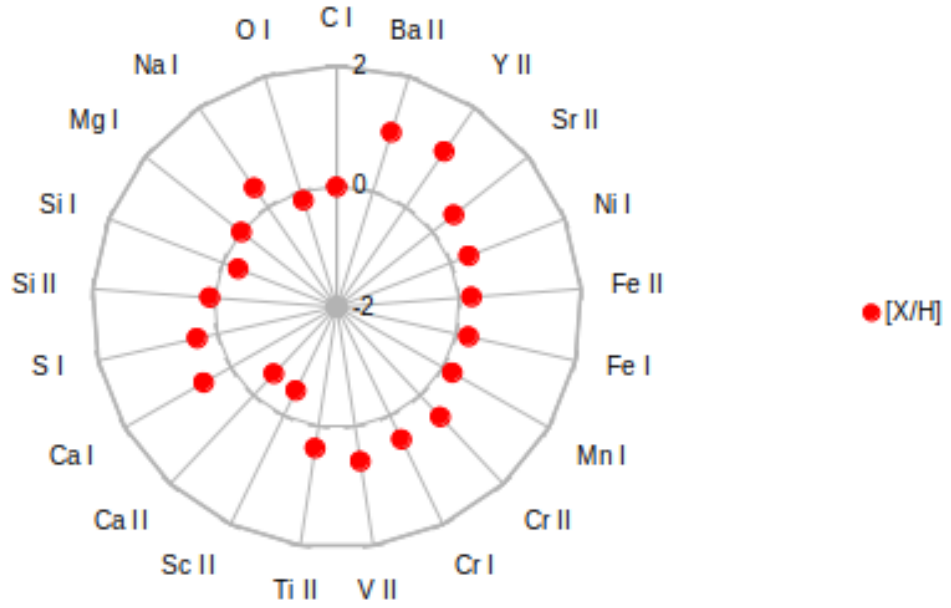
Şekil 5.1 Mn elementinin 4754.04 Å çizgisinin sentetik tayf ile çakıştırması.



Şekil 5.2 Sc elementinin 4246.82 Å çizgisinin sentetik tayf ile çakıştırması ve Güneş bolluğu ile karşılaştırması.



Şekil 5.3 Sc elementinin 5657.90 Å çizgisinin sentetik tayf ile karşılaştırması ve Güneş bolluğu ile karşılaştırması.



Şekil 5.4 HD 58552 yıldızının Güneş'e göre bolluk değerleri.

Çizelge 5.1 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log \varepsilon - 12.04$
C I	493.2049	-1.884	4.76	-3.304
	503.9057	-2.000	1.52	-3.596
	505.2167	-1.648	3.57	-3.687
O I	615.6778	-0.731	2.25	-3.469
	615.8187	-0.441	3.57	-3.514
	777.4166	0.174	18.48	-3.095
Na I	588.9951	0.117	20.70	-5.290
	589.5924	-0.184	17.70	-5.357
Mg I	517.2684	-0.402	19.88	-4.369
	518.3604	-0.180	21.09	-4.434
	552.8405	-0.620	8.17	-4.672
	571.1088	-1.833	1.57	-4.400
Si I	570.8400	-1.470	0.49	-4.755
Si II	413.0894	0.476	12.17	-4.531
	505.5984	0.593	11.70	-4.404
	597.8930	0.004	4.58	-4.411
	634.7109	0.297	21.09	-4.203
	637.1371	-0.003	13.90	-4.486
S I	674.3531	-0.600	3.86	-4.170
	675.7171	-0.310	3.15	-4.567
Ca I	422.6728	0.243	12.12	-6.376
	430.2528	0.275	3.21	-6.345
	558.8749	0.210	2.42	-6.062
	559.4462	-0.050	1.89	-5.93
	616.2173	0.100	3.05	-6.228

Çizelge 5.2 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log \varepsilon - 12.04$
Ca II	501.9971	-0.257	2.60	-6.169
Sc II ^{hfs}	424.6822	0.320	9.76	-9.720
	467.0407	-0.370	2.75	-9.130
	565.7896	-0.500	1.76	-9.130
Ti II	402.8338	-1.000	7.42	-6.972
	416.3648	-0.400	12.36	-6.499
	430.0049	-0.770	17.32	-6.320
	438.6844	-1.260	7.31	-6.299
	439.5033	-0.660	16.33	-6.654
	439.5850	-2.170	5.88	-6.429
	441.1074	-1.060	4.94	-6.472
	442.1938	-1.770	3.07	-6.701
	445.0482	-1.450	11.52	-6.585
	446.4450	-2.080	4.60	-6.738
	446.8507	-0.600	17.69	-6.481
	448.8331	-0.820	5.24	-6.658
	456.3761	-0.960	12.70	-6.835
	457.1968	-0.530	15.39	-6.643
	476.3881	-2.447	2.44	-6.702
	477.9985	-1.370	5.16	-6.817
	480.5085	-1.100	7.25	-6.830
	512.9152	-1.390	5.53	-6.862
	525.2019	-2.502	0.47	-6.555
	533.6771	-1.700	4.78	-6.853
	538.1015	-2.080	2.58	-6.834

Çizelge 5.3 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\varepsilon-12.04$
V II ^{hfs}	402.3388	-0.880	4.21	-7.611
	403.5627	-0.960	6.15	-7.287
Cr I	425.4336	-0.114	10.10	-6.213
	464.6162	-0.700	2.12	-6.098
	465.2157	-1.030	2.64	-5.671
	495.4806	-0.300	1.22	-5.451
	520.4511	-0.208	3.22	-6.443
	540.9784	-0.720	4.31	-5.707
	540.9784	-0.720	4.31	-5.707
Cr II	414.5781	-1.164	2.99	-6.062
	426.1913	-1.531	6.80	-6.063
	426.1913	-1.531	9.57	-5.727
	427.5567	-1.709	5.00	-6.114
	428.4188	-1.864	5.13	-5.945
	455.4988	-1.380	8.18	-5.929
	455.8650	-0.660	16.07	-5.540
	456.5740	-2.110	3.79	-5.778
	458.8199	-0.630	13.54	-5.962
	487.6399	-1.457	9.32	-5.863
	487.6399	-1.457	10.32	-5.738
	488.4607	-2.080	4.22	-5.866
	524.6768	-2.450	4.20	-5.595
	527.4964	-1.290	7.19	-6.145
	530.5853	-2.357	4.31	-5.600
	530.8408	-1.810	4.09	-6.022

Çizelge 5.4 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\epsilon-12.04$
Cr II	531.0687	-2.280	2.36	-5.857
	533.4869	-1.562	5.65	-6.059
	540.7604	-2.088	3.22	-6.039
	542.0922	-2.360	2.62	-5.923
	547.8365	-1.908	4.22	-5.837
	550.2067	-1.990	3.15	-5.930
	550.3212	-2.306	3.53	-5.566
	550.8606	-2.110	2.58	-5.926
Mn I ^{hfs}	475.4042	-0.086	1.96	-6.470
Fe I	400.9713	-1.200	4.15	-4.492
	402.1866	-0.660	6.65	-4.367
	406.2441	-0.780	4.90	-4.419
	406.3594	0.070	16.07	-4.448
	413.2899	-0.920	2.97	-4.582
	413.6998	-0.540	4.99	-4.305
	418.4891	-0.860	4.97	-4.346
	421.7546	-0.510	4.47	-4.397
	422.2213	-0.967	6.09	-4.342
	423.5936	-0.341	10.74	-4.403
	424.7425	-0.230	6.61	-4.444
	413.2899	-0.920	2.97	-4.582
	413.6998	-0.540	4.99	-4.305
	418.4891	-0.860	4.97	-4.346
	421.7546	-0.510	4.47	-4.397
	422.2213	-0.967	6.09	-4.342
	423.5936	-0.341	10.74	-4.403
	424.7425	-0.230	6.61	-4.444

Çizelge 5.5 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\epsilon-12.04$
Fe I	427.1153	-0.349	10.40	-4.427
	427.1760	-0.164	15.07	-4.485
	435.2735	-1.260	3.21	-4.603
	437.5930	-3.031	3.05	-4.284
	440.4750	-0.142	17.00	-4.156
	440.8414	-1.710	1.76	-4.486
	441.5122	-0.615	12.55	-4.388
	444.2339	-1.255	8.32	-3.955
	444.7717	-1.342	3.38	-4.498
	446.6551	-0.590	7.16	-4.355
	447.6076	-0.292	7.13	-4.149
	449.4563	-1.136	6.19	-4.333
	452.8614	-0.822	9.16	-4.304
	461.1279	-0.670	2.63	-4.412
	462.5045	-1.340	1.70	-4.224
	464.7434	-1.310	2.94	-4.154
	466.7454	-0.751	3.13	-4.271
	466.9173	-1.410	1.41	-3.987
	467.8846	-0.660	4.02	-4.218
	469.1412	-1.450	2.05	-4.178
	470.7274	-1.080	2.82	-4.227
	473.6773	-0.740	4.03	-4.383
	478.9651	-0.840	2.39	-4.362
	489.0755	-0.430	6.93	-4.531
	489.1492	-0.140	9.35	-4.542
	490.3310	-1.080	3.74	-4.298
	492.0502	0.060	10.38	-4.622

Çizelge 5.6 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\epsilon-12.04$
Fe I	495.7596	0.127	12.13	-4.468
	496.6088	-0.890	2.86	-4.356
	496.7897	-0.534	1.48	-4.513
	498.3853	-0.050	3.17	-4.657
	498.5253	-0.560	2.14	-4.463
	501.2068	-2.642	4.28	-3.952
	501.4942	-0.250	4.03	-4.414
	502.7123	-0.530	2.83	-4.218
	505.1635	-2.795	1.42	-4.349
	506.5018	-0.147	4.96	-4.196
	507.4748	-0.200	3.11	-4.446
	509.6998	-0.196	4.10	-4.251
	512.5117	-0.140	5.44	-4.165
	513.3688	0.140	7.53	-4.243
	513.7382	-0.400	4.22	-4.094
	513.9462	-0.570	8.67	-4.141
	515.9058	-0.820	1.60	-4.132
	516.2273	0.020	6.30	-4.294
	519.2344	-0.421	9.97	-4.089
	521.5180	-0.967	2.76	-4.341
	523.2940	-0.190	9.97	-4.358
	526.3306	-0.970	1.91	-4.530
	526.9537	-1.321	10.34	-4.525
	527.3164	-1.037	3.53	-4.118
	528.1789	-1.020	3.32	-4.331
	532.4179	-0.240	6.79	-4.525
	534.1023	-2.060	4.85	-3.977

Çizelge 5.7 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\epsilon-12.04$
Fe I	536.7466	0.350	7.46	-4.272
	536.9961	0.350	5.20	-4.604
	537.1489	-1.645	7.69	-4.463
	538.3369	-0.910	8.21	-4.401
	539.7128	-1.993	5.92	-4.357
	540.0501	-0.160	3.64	-4.307
	540.4151	0.523	7.33	-4.457
	540.5775	-1.844	6.04	-4.442
	541.0910	0.280	7.29	-4.181
	541.5199	0.500	7.78	-4.415
	542.4068	0.520	9.18	-4.322
	542.9696	-1.879	5.91	-4.445
	543.4524	-2.122	3.55	-4.493
	544.5042	-0.020	4.30	-4.331
	545.5454	0.297	7.30	-4.331
	546.3276	0.110	3.79	-4.505
	555.4894	-0.440	2.90	-4.033
	556.9618	-0.540	3.73	-4.503
	557.2842	-0.310	6.86	-4.324
	557.6089	-1.000	3.20	-4.122
	561.5644	-0.140	9.01	-4.269
	562.4542	-0.900	3.07	-4.254
	563.3946	-0.270	1.13	-4.398
	563.8262	-0.870	1.28	-4.221
	565.8816	-0.920	3.20	-4.224
	570.9378	-1.240	1.78	-4.230
	593.0181	-0.230	2.52	-4.250

Çizelge 5.8 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\varepsilon-12.04$
Fe I	602.0169	-0.270	2.09	-4.334
	602.4058	-0.120	2.62	-4.396
	613.6615	-1.400	3.94	-4.221
	613.7691	-1.403	3.02	-4.285
	625.2555	-1.687	1.73	-4.410
	630.1500	-0.672	3.41	-4.261
	640.0000	-0.520	3.60	-4.411
	649.4980	-1.273	3.00	-4.533
	751.1019	0.099	5.90	-4.288
Fe II	425.8154	-3.400	7.62	-4.169
	427.3326	-3.258	7.57	-4.319
	427.8159	-3.816	3.66	-4.276
	429.6572	-3.010	10.96	-4.140
	438.5387	-2.570	11.31	-4.496
	441.6830	-2.600	12.38	-4.317
	448.9183	-2.970	8.55	-4.420
	449.1405	-2.700	11.53	-4.289
	450.8288	-2.210	13.43	-4.514
	451.5339	-2.480	12.86	-4.328
	452.2634	-2.030	15.31	-4.420
	454.1524	-3.050	6.39	-4.582
	458.2835	-3.100	5.84	-4.607
	462.0521	-3.280	4.86	-4.56
	466.6758	-3.330	6.34	-4.329
	492.3927	-1.320	19.90	-4.487
	495.1584	0.175	2.28	-3.979
	500.4195	0.497	3.00	-4.148

Çizelge 5.9 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log\epsilon-12.04$
Fe II	523.4625	-2.050	13.81	-4.414
	525.1233	0.507	1.90	-4.242
	525.4929	-3.227	5.33	-4.306
	526.4812	-3.190	6.00	-4.259
	527.2397	-2.030	3.19	-4.109
	527.6002	-1.940	14.63	-4.424
	529.1666	0.575	2.66	-4.134
	531.6615	-1.850	13.90	-4.647
	533.7732	-3.892	2.52	-4.083
	536.2869	-2.739	11.66	-4.040
	540.2059	0.502	1.49	-4.321
	541.4073	-3.790	3.50	-4.011
	543.2967	-3.629	4.16	-4.040
	553.4847	-2.930	6.08	-4.498
	599.1376	-3.557	4.11	-4.189
	614.7741	-2.721	5.59	-4.342
	623.8392	-2.630	4.13	-4.633
	624.7557	-2.329	5.90	-4.690
	631.7983	-1.990	2.79	-4.462
	633.1954	-1.977	2.06	-4.192
Ni I	460.4982	-0.250	1.60	-5.580
	471.4408	0.260	5.83	-5.416
	471.5757	-0.320	2.66	-5.214
	490.4407	-0.170	2.67	-5.367
	498.0166	0.070	2.78	-5.546
	501.7568	-0.020	3.36	-5.391
	509.9927	-0.100	0.96	-5.858

Çizelge 5.10 HD 58552 yıldızının WIDTH ile hesaplanan element bollukları ve loggf değerleri.

atomik tür	dalgaboyu, λ (nm)	osilatör şiddeti (loggf)	eşdeğer genişlik EW (pm)	bolluk $\log \varepsilon - 12.04$
Ni I	509.9927	-0.100	0.96	-5.858
	511.5389	-0.110	1.61	-5.502
	515.5762	-0.090	1.98	-5.381
	475.6510	-0.270	1.51	-5.591
	490.4407	-0.170	2.67	-5.367
	498.0166	0.070	2.78	-5.546
	501.7568	-0.020	3.36	-5.391
	508.1107	0.300	3.75	-5.455
	508.4089	0.030	2.26	-5.587
	509.9927	-0.100	2.34	-5.425
	511.5389	-0.110	1.61	-5.502
	515.5762	-0.090	1.98	-5.381
Ni II	436.2099	-2.723	3.27	-5.157
Sr II	407.7709	0.167	19.93	-8.450
	421.5519	-0.145	16.28	-8.784
Y II ^{hfs}	437.4935	0.160	13.73	-8.653
	488.3684	0.070	9.59	-8.754
	508.7416	-0.170	7.68	-8.752
	512.3211	-0.830	3.82	-8.645
	520.0406	-0.570	4.76	-8.773
	540.2774	-0.510	2.28	-8.698
	550.9895	-1.010	2.98	-8.617
	566.2925	0.160	7.44	-8.553
Ba II ^{hfs}	493.4076	-1.000	10.82	-9.144
	585.3668	-1.000	4.07	-8.787
	614.1713	-0.076	11.20	-8.724

6. KİMYASAL BOLLUK ANALİZİ HATA HESABI

Bolluk hesaplamaları, atmosfer parametreleri belirsizliklerinin yanı sıra, normalizasyon işlemi sürecindeki süreklilik seviyesi hatalarını ve atomik türün osilatör şiddetinden ileri gelen hataları da içerebilmektedir.

Elementlerin her bir çizgisinden hesaplanan bollukların standart sapma miktarı söz konusu iyon için rastgele hata değeri (σ_{ra}) olarak işleme alındı. Hata hesaplamaları yapılırken atmosfer parametrelerden kaynaklanan belirsizliklere yönelik değerleri elde etmek için, elementlerin bolluk analizinde elde edilen rastgele hatalar dikkate alındı.

Bolluk belirsizliklerini hesaplamak için T_{et} , $\log g$ ve ξ hassasiyetindeki hatalar kullanıldı. Her atomik tür için, aşağıda görülen değerlere yönelik tekrar atmosfer mod-

(ΔT)	$(\Delta \xi)$	$(\Delta \log g)$
9000 K ± 150	3.15 kms ⁻¹ ± 0.5	4.4 dex $\pm 0,1$
+150 , -150	+0.5 , -0.5	+0,1 , -0,1

elleri oluşturuldu. Atmosfer parametrelerine yönelik hesaplanan standart sapma değerleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

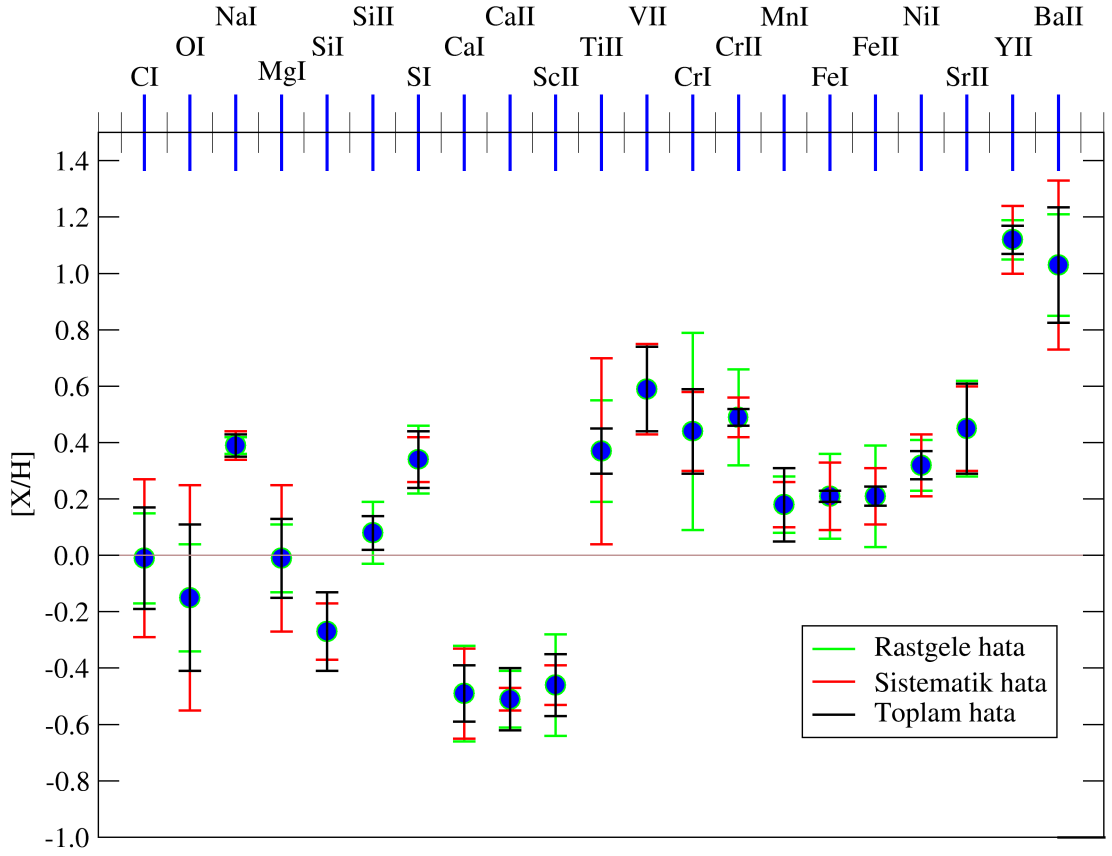
Sıcaklık, mikrotürbülans ve yüzey çekim ivmesinin her birinin neden olduğu hata katkısı sistematik hatadır ve aşağıdaki formül ile hesaplandı.

$$\sigma_{sis} = ((\sigma T_{et})^2 + (\sigma \log g)^2 + (\sigma \xi)^2)^{0.5}$$

Bu çalışmadaki toplam belirsizlik aşağıdaki eşitlik ile gösterilmiştir. N, çizgi sayısını temsil etmektedir.

$$\sigma_{top} = ((\sigma_{ra})^2 + (\sigma_{sis})^2)^{0.5} / (N)^{0.5}$$

Element bolluk değerleri, Grevesse ve Sauval’ın (1998) Güneş bolluğu değerlerine göre hesaplandı. Çizgi sayısı bir tane olan elementler için rastgele hata değeri 0.10 olarak alındı. Hesaplanan bolluklar, rastgele hata, sistematik hata ve toplam hata



Şekil 6.1 HD 58552'nin Güneş'e göre bolluk değerleri.

ile birlikte çizelge 6.2'de yer almaktadır. HD 58552 yıldızın element bolluklarının Güneş'e göre değerleri ise Şekil 6.1'de gösterildi.

Çizelge 6.1 HD 58552 yıldızının sistematik hata hesabı için kullanılan T , ξ ve $\log g$ 'ye bağlı bolluk değerindeki standart sapmalar.

iyon	(ΔT)	$(\Delta \xi)$	$(\Delta \log g)$
	9000 K ± 150	3.15 kms-1 ± 0.5	4.4 dex $\pm 0,1$
	+150 , -150	+0,5 , -0,5	+0.1 , -0.1
C I	0.16 , 0.16	0.16 , 0.16	0.16 , 0.16
O I	0.21 , 0.2	0.14 , 0.24	0.24 , 0.2
Na I	0.03 , 0.03	0.02 , 0.03	0.03 , 0.04
Mg I	0.13 , 0.12	0.11 , 0.19	0.12 , 0.12
Si I	0.10 , 0.10	0.00 , 0.01	0.02 , 0.03
Si II	0.00 , 0.00	0.06 , 0.06	0.00 , -0.01
S I	0.08 , 0.08	0.01 , 0.01	0.02 , 0.02
Ca I	0.14 , 0.15	0.05 , 0.07	0.03 , -0.04
Ca II	0.04 , 0.04	0.01 , 0.01	0.00 , 0.00
Sc II	0.05 , 0.11	0.06 , 0.01	0.05 , -0.01
Ti II	0.07 , 0.08	0.07 , 0.33	0.02 , -0.02
V II	0.07 , 0.07	0.15 , -0.12	0.02 , -0.02
Cr I	0.13 , 0.14	0.04 , 0.05	0.02 , 0.02
Cr II	0.05 , 0.05	0.03 , 0.04	0.02 , -0.02
Mn I	0.12 , 0.12	0.01 , 0.01	0.02 , 0.02
Fe I	0.11 , 0.12	0.04 , 0.05	0.03 , 0.02
Fe II	0.04 , 0.05	0.07 , 0.09	0.02 , -0.02
Ni I	0.10 , 0.12	0.01 , 0.02	0.03 , 0.02
Sr II	0.13 , 0.13	0.14 , 0.14	0.01 , 0.01
Y II	0.09 , 0.10	0.06 , 0.08	0.00 , -0.02
Ba II	0.18 , 0.19	0.21 , 0.17	0.18 , 0.19

Çizelge 6.2 HD 58552 yıldızının kimyasal bolluk ve hata değerleri, σ_{ra} standart rastgele hata, σ_{sis} sistematik hata, σ_{tot} toplam hata, A atom numarası ve N çizgi sayısı.

iyon	A	bolluk	$\log \epsilon$	$\log \epsilon_{\odot}$	[X/H]	σ_{ra}	σ_{sis}	σ_{tot}	N
C I	6	-3.53	8.51	8.52	-0.01	0.16	0.28	0.19	3
O I	8	-3.36	8.68	8.83	-0.15	0.19	0.40	0.26	3
Na I	11	-5.32	6.72	6.33	0.39	0.03	0.05	0.04	2
Mg I	12	-4.47	7.57	7.58	-0.01	0.12	0.26	0.14	4
Si I	14	-4.76	7.28	7.55	-0.27	0.10	0.10	0.14	1
Si II	14	-4.41	7.63	7.55	0.08	0.11	0.06	0.06	5
S I	16	-4.37	7.75	7.67	0.34	0.12	0.08	0.10	2
Ca I	20	-6.22	5.82	6.36	-0.51	0.17	0.16	0.10	5
Ca II	20	-6.17	5.87	6.36	-0.49	0.10	0.04	0.11	1
Sc II ^{hfs}	21	-9.33	2.71	3.17	-0.46	0.18	0.07	0.11	3
Ti II	22	-6.65	5.39	5.02	0.37	0.18	0.33	0.08	21
V II ^{hfs}	23	-7.45	4.59	4.00	0.59	0.13	0.16	0.15	2
Cr I	24	-5.93	6.11	5.67	0.44	0.35	0.14	0.15	6
Cr II	24	-5.88	6.16	5.67	0.49	0.15	0.07	0.03	24
Mn I ^{hfs}	25	-6.47	5.57	5.39	0.18	0.10	0.08	0.13	1
Fe I	26	-4.33	7.71	7.50	0.21	0.15	0.12	0.02	102
Fe II	26	-4.33	7.71	7.50	0.21	0.18	0.10	0.03	38
Ni I	28	-5.47	6.57	6.25	0.32	0.09	0.11	0.05	9
Sr II	38	-8.62	3.42	2.97	0.45	0.17	0.15	0.16	2
Y II ^{hfs}	39	-8.68	3.36	2.24	1.12	0.07	0.12	0.05	8
Ba II ^{hfs}	56	-8.88	3.16	2.13	1.03	0.18	0.30	0.21	3

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

7.1 HD 58552 Yıldızının Kimyasal Bolluk Analizi Sonuçları

7.1.1 Hafif element bollukları

HD 58552 yıldızının kimyasal bolluk analizi sonucunda hafif elementler olan karbon, oksijen ve magnezyumun Güneş'e göre bollukları sırasıyla -0.01 dex, -0.15 dex ve -0.01 dex olarak ölçüldü. Yıldızın oksijen bakımından Güneş'e göre fakir olduğu Şekil 6.1'de görülmektedir. Güneş'e göre 0.39 dex olarak belirlenen sodyum elementi ise Güneş'e nazaran zengindir. Am yıldızlarında genel olarak oksijen ve karbon bolluklarının Güneş'e göre fakir olması yaygın rastlanan bir durumdur. Bu çalışmada, HD 58552 yıldızında karbon ve magnezyum elementlerinin analizinde gözlenen -0.01 dex değeri, neredeyse Güneş bolluğundadır. Ancak Şekil 6.1'de oksijenin toplam hata payının bütün hata payı dağılımında en yüksek değerlerden biri ve bu miktarın Güneş'e göre bolluk değerinden çok daha büyük olması, HD 58552 yıldızında oksijenin Güneş'e göre gerçekte daha fakir olup olmadığını sorgulatmaktadır. Aynı durum hata payı değerleri Güneş'e göre bolluk değerlerinden büyük olan karbon ve magnezyum için de söz konusudur.

Bolluk analizini gerçekleştirirken yerel termodinamik denge (LTE) koşulları kabul edilmiş olsa da, oksijen bolluk analizlerinde oksijen üçlüsü (triplet, 777.1-777.5 nm civarı) non-LTE 'den etkilendiğinden, bolluk değerlerinde sapmalar olabilmektedir (Przybilla vd. 2000).

7.1.2 Kalsiyum ve skandiyum bollukları

Sc ve/veya Ca çizgileri Am türü kimyasal tuhaf yıldızlarda aynı tayf türündeki yıldızlardan beklenen sıcaklığa göre daha zayıf olmaktadır. HD 58552 yıldızında skandiyumun Güneş'e göre bolluğu -0.46 dex olup bu değer Güneş'e göre daha fakirdir. Ayrıca -0.51 dex olarak ölçülen kalsiyum bolluğu da Güneş'e göre daha düşük bir değer göstermiştir. Am yıldızlarında skandiyum ve kalsiyum bolluklarından biri Güneş'e göre yüksek iken diğerinin Güneş'e göre düşük olduğu örnek-

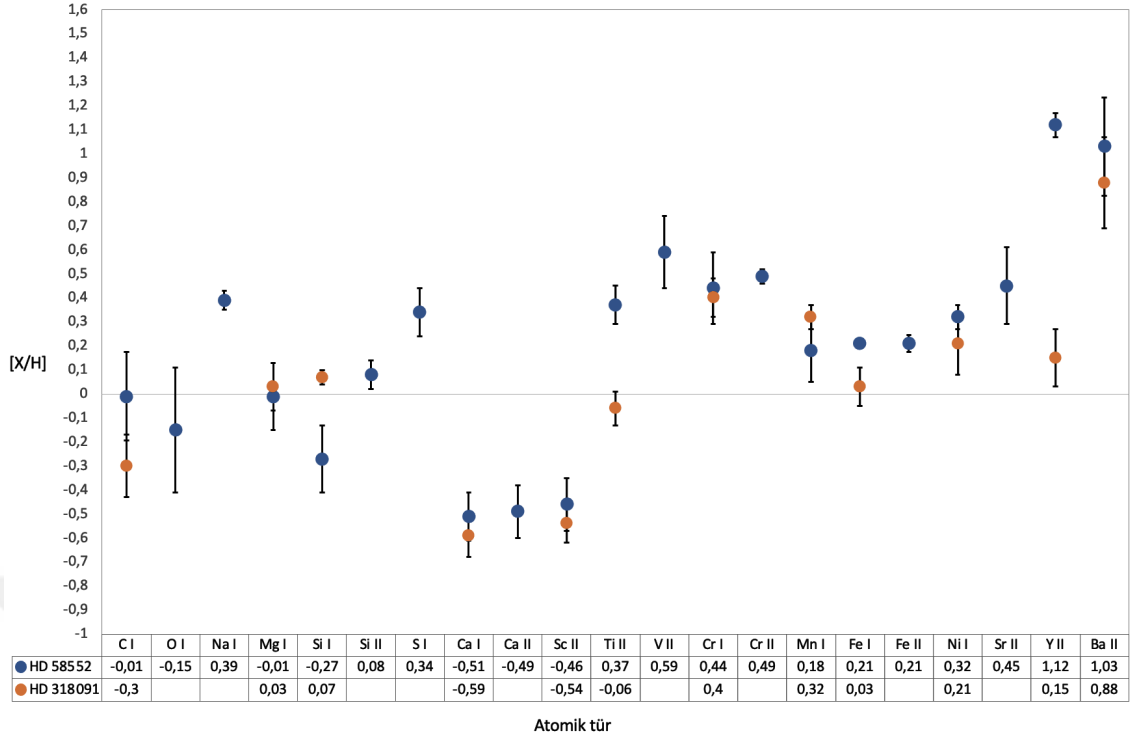
lere rastlanmaktadır. Örneğin, Am türü yıldız olan HR 7525 (Elmaslı vd. 2018) yıldızında Ca I bolluğu Güneş'e göre 0.36 dex olarak ölçülürken, Sc bolluğu ise (-0.24 dex) Güneş'e göre fakirdir (Şekil 7.4). Yine Am türü HD 33266 (Çalışkan vd. 2015) yıldızında Ca bolluğu ise neredeyse güneş bolluğundadır, diğer yandan bu yıldızın Sc bolluğu güneşe göre daha düşük (-0.68) bir değere sahiptir (Şekil 7.3).

7.1.3 Demir grubu ve ağır element bollukları

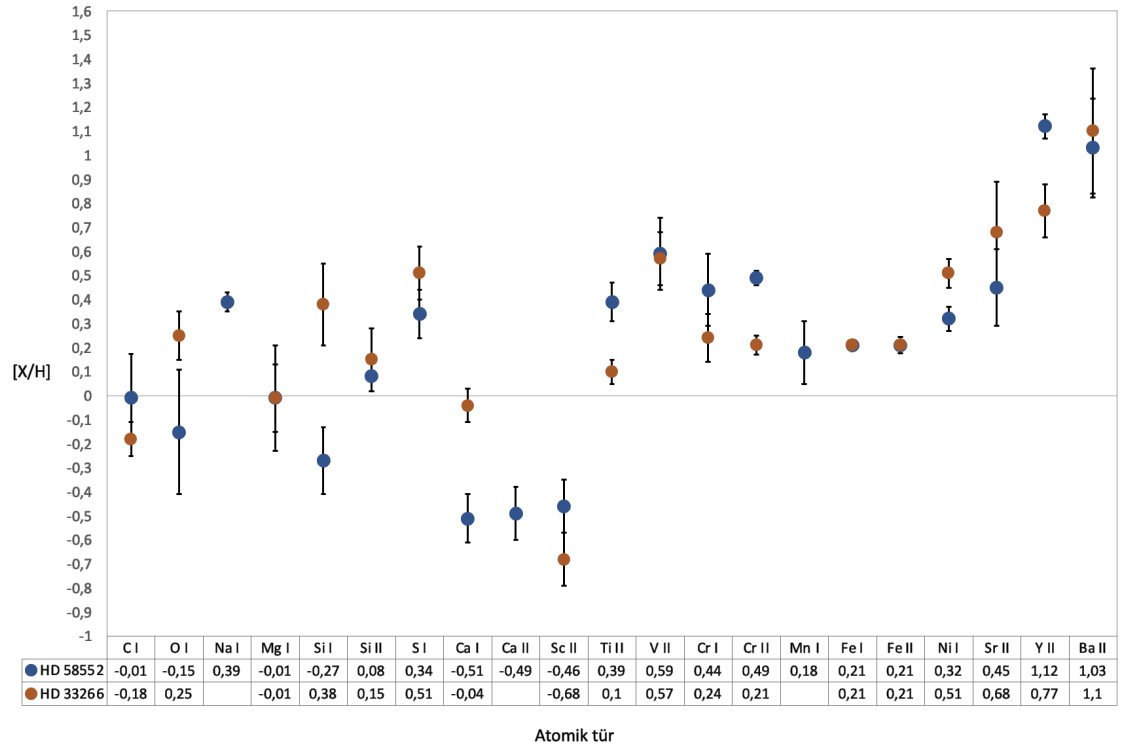
Am yıldızlarında demir elementinin Güneş'e göre bolluğu genel olarak 0.0 ile 0.5 dex değerleri arasındadır (Qin vd. 2019, Şekil 2.7). Ti, V, Cr elementlerine doğru giderken bolluk oranı artmaya başlar ve Mn, Fe, Ni bölgesinde tekrar bir miktar azalır. Nikelden sonra Sr, Y, Ba gibi daha ağır elementlere doğru, bolluklarda daha da artma eğilimi gözlenir. Metal bolluklarında artan kütle numarasıyla gözlenen bu dalgalanma şekil 7.1, 7.2 ve 7.3 deki Güneş bolluğu ile kıyaslama grafiklerinin her birinde görülmektedir. Ca ve Sc bollukları Güneş'e göre fakir olmasına rağmen, diğer metallerde Am yıldızları için beklenen trend olan yüksek bolluklar yeterince gözlenmediğinde, bu tip Am yıldızları "mild Am" olarak adlandırılmaktadır. NGC açık kümesinde yer alan ve Güneş'e göre kalsiyum bolluğu, -0.59 dex ve skandiyum bolluğu, -0.54 olan HD 318091 yıldızının (Kılıçoğlu vd. 2016) demir grubu ve daha ağır elementlerinin bolluğu Güneş değerlerine yakın olduğundan "mild Am" yıldızlarına yönelik bir örnektir (Şekil 7.2).

Çizelge 7.1 Güneş'e göre bolluk değerlerinin HD 58552 ile karşılaştırıldığı üç farklı Am yıldızının atmosfer parametreleri ve dönme hızları.

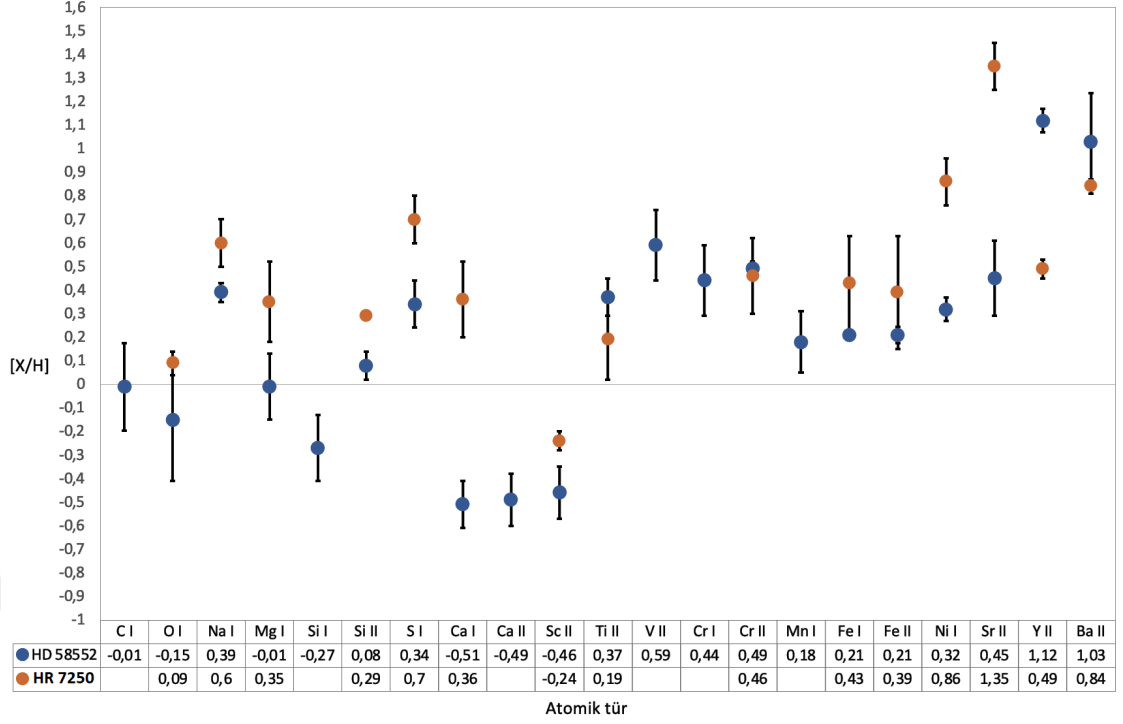
Yıldız ismi	HD 58552	HR 7250	HD 318091	HD 33266
Kaynak	Bu çalışma	Elmaslı vd. 2018	Kılıçoğlu, 2016	Çalışkan vd. 2015
T_{eff} (K)	9000 ± 150	8500 ± 150	8700 ± 300	9200 ± 150
$\log g$ (dex)	4.4 ± 0.1	3.4 ± 0.1	4 ± 0.1	3.6 ± 0.1
ξ (kms ⁻¹)	3.2 ± 0.5	3.3 ± 0.5	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.5
$v \sin i$ (kms ⁻¹)	16 ± 1	42 ± 2	62 ± 5	6 ± 1



Şekil 7.1 HD 58552 yıldızının Güneş'e göre element bolluklarının HD 318091 yıldızı ile karşılaştırması.



Şekil 7.2 HD 58552 yıldızının Güneş'e göre element bolluklarının HD 33266 yıldızı ile karşılaştırması.



Şekil 7.3 HD 58552 yıldızının Güneş'e göre element bolluklarının HR 7250 yıldızı ile karşılaştırması.

7.2 HD 58552 Yıldızının Evrim Durumu

Bir yıldızın paralaks (π), görünen parlaklık (m_v), renk artığı ($E(B-V)$) ve etkin sıcaklık (T_{et}) değerleri bilindiği takdirde, söz konusu yıldızın mutlak parlaklığı (M_v), ışıyım gücü ($L_\odot$) hesaplanabilmekte, yıldızın kütlesi ve yaşı H-R diyagramı üzerinde belirlenebilmektedir. Böylece yıldızın evrim durumuna dair bilgi edinmek mümkün olmaktadır.

Bolometrik düzeltme yapabilmek için Torres'in (2010) çalışmasındaki katsayılarıdan faydalanıldı. Yıldızın mutlak parlaklığı belirlendikten sonra ışıyım gücü, $\log L/L_\odot = 1.27 \pm 0.08$ $L_\odot$ olarak hesaplandı.

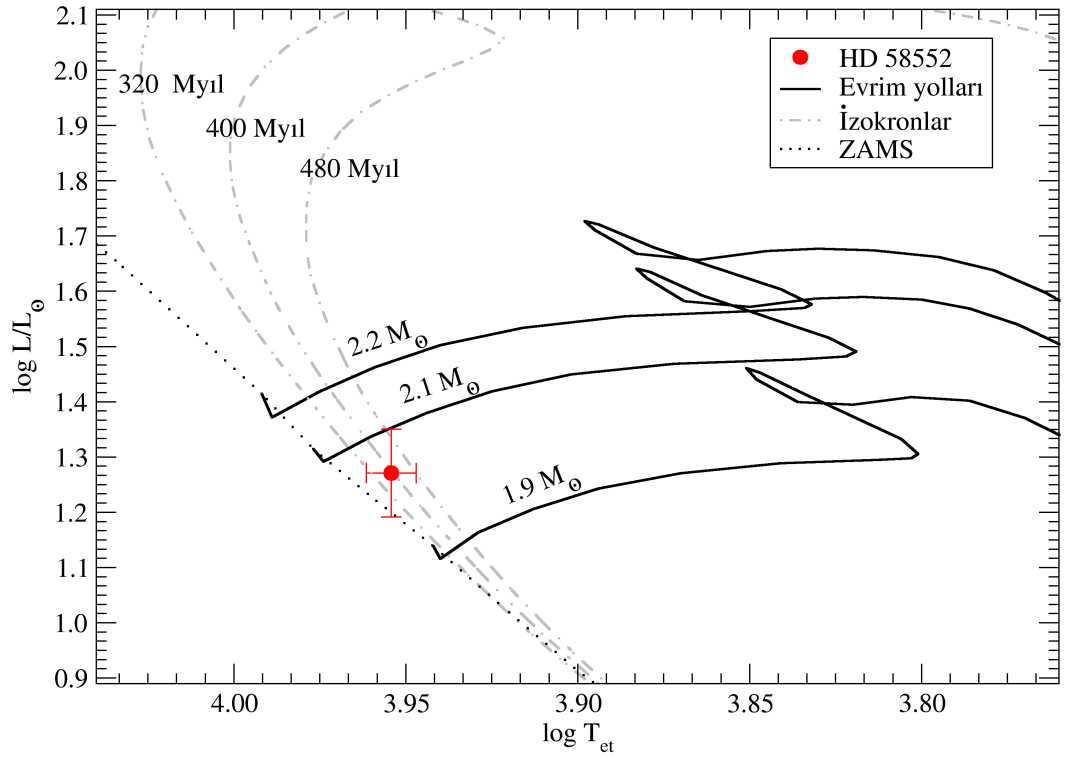
Etkin sıcaklık ve çizelge 7.2'de gösterilen parametrelerle hesaplanan ışıyım gücü değeri kullanılarak, HD 58552 yıldızının H-R diyagramındaki konumu belirlendi. Ardından H-R diagramı üzerine Salasnich (2000)'in evrim yolları ve Bressan vd. (2012)'nin yaş izokronları yerleştirildi. HD 58552 yıldızının kütlesi $M/M_\odot = 2.06 \pm 0.09$ $M_\odot$ ve yaşı ise 400 ± 80 milyon yıl (Myıl) olarak belirlendi. Şekil 7.5'de HD 58552

yıldızının H-R diagramı üzerindeki konumu gösterilmektedir. Şekide noktalı siyah çizgiler ile ZAMS, sıfır yaş anakolu temsil edilmektedir. Siyah çizgiler evrim yollarını, gri çizgiler milyon yıl (Myıl) mertebesinde yaş izokronlarını temsil etmektedir.

Yıldızın kütle değeri Kılıçoğlu (2021)'in kütle-etkin sıcaklık-yüzey çekim ivmesi ilişkilerini kullandığı MTGR katsayılarını içeren MTGR parametreleriyle hesaplanarak denetlendi. MTGR ile elde edilen $2.03 M_{\odot}$ değerinin H-R diyagramı üzerinde belirlenmiş kütle değeri ile uyumlu olduğu doğrulandı.

Çizelge 7.2 H-R diyagramında kullanılan ve hesaplanan parametreler.

Parametre	Değer	Hata	Kaynak
Görsel parlaklık (m_v)	6.377	0.01	Høg, (2000)
Paralaks, π (mas)	11.4741	0.05	Gaya Collaboration (2020)
Renk artışı E(B-V)	0.02		Napiwotzki vd. (1993)
Yıldızlararası sönmelenme değeri (A_v)	0.062		bu çalışma
Mutlak parlaklık (M_v)	1.615	0.03	bu çalışma
Güneş'e göre ışıyım gücü ($\log L/L_{\odot}$)	1.27	0.08	bu çalışma
Logoaritmik etkin sıcaklık ($\log T_{et}$)	3.95	0.01	bu çalışma
Kütle ($M/M_{\odot}$)	2.06	0.09	bu çalışma
Yaş (Myıl)	400	80	bu çalışma



Şekil 7.4 HD 58552 yıldızının H-R diyagramı üzerindeki konumu.

7.3 Sonuç

- i) Bu çalışmada HD 58552 yıldızının ilk kez ayrıntılı olarak kimyasal bolluk analizi gerçekleştirildi.
- ii) Mikrotürbülans hız değeri, en fazla çizgi sayısına sahip olan demir elementinin eşdeğer genişliğe göre bolluk trendinden elde edilip, trendin en yüksek olduğu yerdeki ölçüm yıldızın mikrotürbülans hızı olarak belirlendi ve $3.2 \pm 0.5 \text{ kms}^{-1}$ olarak hesaplandı.
- iii) Demir çizgileri kullanılarak, bolluk trendinin en yoğun olduğu uyartılma potansiyelinden elde edilen sıcaklık değeri yıldızın etkin sıcaklığı olarak kabul edildi. HD 58552 yıldızının etkin sıcaklığı $9000 \pm 150 \text{ K}$ olarak hesaplandı.
- iv) FeI/FeII iyonizasyon dengesi durumu dikkate alınarak yıldızın yüzey çekim ivmesi $4.4 \pm 0.1 \text{ dex}$ olarak elde edildi.
- v) Atmosfer parametrelerinin doğruluğu, yıldızın gözlemsel $H\alpha$ ve $H\beta$ çizgi profillerine, sentetik tayf karşılaştırması yapılarak denetlendi.
- vi) HD 58552 yıldızının dönme hızı ($v_{\sin i}$) $16 \pm 2 \text{ kms}^{-1}$ olarak belirlendi. $V_{helio} -20.03 \pm 2 \text{ kms}^{-1}$ olarak hesaplandı.
- vii) Belirlenen atmosfer parametreleri kullanılarak, ATLAS9 programı ile yıldızın atmosfer modelleri oluşturuldu ve tanımlanan element çizgilerine WIDTH9 kodu ile kimyasal bolluk analizi gerçekleştirildi. C, O, Na, Mg, Si, S, Ca, Sc, V, Ti, Mn, Cr, Fe, Ni ve Ba bollukları hesaplandı.
- viii) HD 58552 yıldızının Ca ve Sc bolluğu bakımından Güneş'e göre fakir olması, ayrıca demir grubu elementler ile ağır elementlerin Güneş'e göre zengin olması, bu yıldızın bir Am türü yıldız olduğunu işaret etmektedir.
- ix) HD 58552 yıldızının bolluk değerleri, Am yıldızları olan HR 7250 (Elmaslı vd. 2018), HD 318091 (Kılıçoğlu vd. 2016) ve HD 33266 (Çalışkan vd. 2015) yıldızlarının Güneş'e göre bollukları ile karşılaştırıldı ve yıldızın bolluk değerlerinin Am türü

yıldızlarla uyumlu olduğu gözlemlendi. HD 58552 yıldızının kimyasal bolluk dağılımı, bu yıldızın bir Am türü olabileceğini göstermektedir.

x) HD 58552 yıldızının ışı nım gücü $\log L/L_{\odot} = 1.27 \pm 0.08$ $L_{\odot}$ olarak hesaplandı. Kütle değeri $M/M_{\odot} = 2.06 \pm 0.09$ $M_{\odot}$, yaşı ise 400 ± 80 Myıl olarak belirlendi. Yıldızın kütle değeri MTGR (Kılıçoğlu, 2021) ilişkisi ve parametreleri kullanılarak hesaplandı ve H-R diyagramında belirlenen kütle ile uyum gösterdiği doğrulandı.



KAYNAKLAR

- Abt, H.A., Chaffee, F.H. and Suffolk, G., 1972. *Rotational Velocities of AP Stars*. Astrophysical Journal, 175; 779.
- Abt, H. A., 2017. *What Happens to Am Stars After They Leave the Main Sequence?*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 129(974), 044201.
- Abt, H. A., 2000. *Does Rotation Alone Determine Whether an A-Type Star's Spectrum Is Abnormal or Normal?*. The Astrophysical Journal, 544(2), 933-936.
- Abt, H. A., Morgan, W. W., 1976. *MK morphology of a group of Am stars*. The Astrophysical Journal, 205 446-447.
- Abt, H. A., Morrell, N. I., 1995. *The Relation between Rotational Velocities and Spectral Peculiarities among A-Type Stars*. The Astrophysical Journal Supplement Series, 99 135.
- Abt, H. A., Snowden, M. S., 1973. *The Binary Frequency for AP Stars*. The Astrophysical Journal Supplement Series, 25 137.
- Adelman, S.J., Gulliver, A.F., Kochukhov, O.P. and Ryabchikova, T.A., 2002. *The Variability of the Hg II λ 3984 Line of the Mercury-Manganese Star α Andromedae*. The Astrophysical Journal, 575; 449.
- Adelman, S. J., Adelman, A. S. and Pintado, O. I., 2003. *On the relationship between the mercury-manganese stars and the metallic-lined stars*. Astronomy and Astrophysics, 397, 267-273.
- Alecian, G., 2021. *Atomic diffusion in magnetic chemically peculiar stars*. OBA Stars: Variability and Magnetic Fields, 12.
- Babcock, H. W. 1960., *The 34-KILOGAUSS Magnetic Field of HD 215441*. The Astrophysical Journal, 132 521.
- Bai, Y., Liu, J., Bai, Z., Wang, S., Fan, D., 2019. *Machine-learning Regression of Stellar Effective Temperatures in the Second Gaia Data Release*. The Astronomical Journal, 158(2), 93.
- Balona L. A., 1994. *Effective Temperature Bolometric Correction and Mass Calibration of O-F*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 268 119.
- Balona, L. A., Catanzaro, G., Abedigamba, O. P., Ripepi, V., Smalley, B., 2015. *Spots on Am stars*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448(2), 1378-1388.
- Bonifacio, P., Castelli, F., 1993. *The Impact of Reddening on the Observed Fluxes of A-Stars*. IAU Colloq. 138: Peculiar versus Normal Phenomena in A-type and Related Stars, 44(138), 143.

- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S., Nanni, A., 2012. *PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427(1), 127-145.
- Cannon, A. J., Pickering, E. C., 1993. *VizieR Online Data Catalog: Henry Draper Catalogue and Extension (Cannon+ 1918-1924; ADC 1989)*. VizieR Online Data Catalog, III/135A.
- Castelli, F., 2005a. *DFSYNTH: how to use it*. Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi, 8 34.
- Castelli, F. 2005b. *Kurucz's WIDTH code and INPWIDTH*. Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi, 8 44.
- Chen, P. S. Liu, J. Y. and Shan, H. G., 2017 *A New Photometric Study of Ap and Am Stars in the Infrared*. The Astronomical Journal, 153:218 (28pp).
- Conti, P. S., 1970. *The Metallic-Line Stars*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 82(488), 781.
- Cowley, A., Cowley, C., Jaschek, M., Jaschek, C., 1969. *A study of the bright A stars. I. A catalogue of spectral classifications..* The Astronomical Journal, 74 375-406.
- Cowley, C. R., Mathys, G., 1998. *Line identifications and preliminary abundances from the red spectrum of HD 101065 (Przybylski's star)*. Astronomy and Astrophysics, 339 165-169.
- Cruzalèbes, P., Petrov, R. G., Robbe-Dubois, S., Varga, J., Burtscher, L., Allouche, F., Berio, P., Hofmann, K.-H., Hron, J., Jaffe, W., Lagarde, S., Lopez, B., Matter, A., Meilland, A., Meisenheimer, K., Millour, F., Schertl, D., 2019. *A catalogue of stellar diameters and fluxes for mid-infrared interferometry*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 490(3), 3158-3176.
- Çalışkan, Ş., Kılıçoğlu, T., Elmaslı, A., Nasolo, Y., Avcı, Z., Albayrak, B., 2015. *Chemical abundance analysis of the A-type stars CP Cyg and HD 33266*. New Astronomy, 34 6-10.
- de Bruijne, J. H. J., Eilers, A.-C., 2012. *Radial velocities for the HIPPARCOS-Gaia Hundred-Thousand-Proper-Motion project*. Astronomy and Astrophysics, 546 A61.
- Deutsch, A. J. 1956., *The peculiar A stars*. Vistas in Astronomy, 2(1), 1421-1427.
- Duflot, M., Figon, P., Meyssonier, N., 1995. *Vitesse radiales. Catalogue WEB: Wilson Evans Batten. Subtitle: Radial velocities: The Wilson-Evans-Batten catalogue*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 114 269.
- Elmaslı, A., Ünal, K., Çalışkan, Ş., 2018. *High-resolution abundance analysis of the metallic-line star HR 7250*. New Astronomy, 62 15-19.

- Fossati, L., Bagnulo, S., Landstreet, J., Wade, G., Kochukhov, O., Monier, R., Weiss, W. and Gebran, M., 2008. *The effect of rotation on the abundances of the chemical elements of the A-type stars in the Praesepe cluster*. *Astronomy and Astrophysics*, 483; 891.
- Fossati, L., 2009. *A detailed abundance analysis of early-type stars in open clusters: constraints to diffusion models*. PhD thesis Wien University, 187 p., Wien.
- Frouard, J., Dorland, B. N., Makarov, V. V., Zacharias, N., Finch, C. T., 2015. *UrHip Proper Motion Catalog*. *The Astronomical Journal*, 150(5), 141.
- Gaia Collaboration., 2016. *Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties*. *Astronomy and Astrophysics*, 595 A2.
- Gaia Collaboration., 2018. *VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2 (Gaia Collaboration, 2018)*. *VizieR Online Data Catalog*, I/345.
- Gaia Collaboration. , 2020. *VizieR Online Data Catalog: Gaia EDR3 (Gaia Collaboration, 2020)*. *VizieR Online Data Catalog*, I/350.
- Gebran, M., Vick, M., Monier, R., Fossati, L., 2010. *Chemical composition of A and F dwarfs members of the Hyades open cluster*. *Astronomy and Astrophysics*, 523 A71.
- Ghazaryan, S., Alecian, G., 2016. *Statistical analysis from recent abundance determinations in HgMn stars*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460(2), 1912-1922.
- Godon, P., Sion, E. M., Szkody, P., Blair, W. P., 2020. *The hydrogen Balmer lines and jump in absorption in accretion disc modelling - an ultraviolet-optical spectral analysis of the dwarf novae UZ Serpentis and CY Lyrae*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 494(4), 5244-5258.
- Goebel, J. H., Bregman, J. D., Cooper, D. M., Goorvitch, D., Langhoff, S. R., Witteborn, F. C., 1983. *The C₂H, C₂ and CN electronic absorption bands in the carbon star HD 19557*. *The Astrophysical Journal*, 270 190-199.
- Gontcharov, G. A., 2006. *Pulkovo Compilation of Radial Velocities for 35 495 Hipparcos stars in a common system*. *Astronomy Letters*, 32(11), 759-771.
- Gray, R. O., Corbally, C. J., De Cat, P., Fu, J. N., Ren, A. B., Shi, J. R., Luo, A. L., Zhang, H. T., Wu, Y., Cao, Z., Li, G., Zhang, Y., Hou, Y., Wang, Y., 2016. *LAMOST Observations in the Kepler Field: Spectral Classification with the MKCLASS Code*. *The Astronomical Journal*, 151(1), 13.
- Grevesse, N., Sauval, A. J., 1998. *Standard Solar Composition*. *Space Science Reviews*, 85 161-174.
- Grunhut, J. H., Neiner, C., 2015. *Magnetic fields in early-type stars*. *Polarimetry*, 305 53-60.

- Harper, W. E., 1937. *The radial velocities of 917 stars*. Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria, 7 1-97.
- Høg, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., Urban, S., Corbin, T., Wycoff, G., Bastian, U., Schwekendiek, P., Wicenec, A., 2000. *The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars*. Astronomy and Astrophysics, 355 L27-L30.
- Hou, W., Luo, A., Yang, H., Wei, P., Zhao, Y., Zuo, F., Song, Y., Du, B., Bai, Z., Zhang, Y., Hou, Y., Liu, X., 2015. *A large sample of metallic-line star candidates from LAMOST Data Release 1*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449(2), 1401-1407.
- Hunger, K., Schoenberner, D., Kameswara Rao, N., 1986. *Hydrogen deficient stars and related objects*. IAU Colloq. 87: Hydrogen Deficient Stars and Related Objects, 128.
- Jacoby, G. H., Hunter, D. H., Christian, C. A. , 1984. *A library of stellar spectra*. NSSDC/WDC-A-R amp;S,.
- Jaschek, M., Jaschek, C., 1958. *The Position of the Peculiar A-Type Stars in the Color-Absolute Magnitude Diagram. With 2 figures in the text*. Zeitschrift fur Astrophysik, 45 35.
- Khokhlova, V. L., 1981. *On a possible explanation of observed underabundance of He in the atmospheres of Bp stars*. Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii, 32 14.
- Kılıçoğlu, T., Monier, R., Richer, J., Fossati, L., Albayrak, B., 2016. *Chemical Composition of Intermediate-mass Star Members of the M6 (NGC 6405) Open Cluster*. The Astronomical Journal, 151(3), 49.
- Kılıçoğlu, T., 2021. *Mass-effective temperature-surface gravity relation for intermediate-mass main-sequence stars*. Astronomy and Astrophysics, 655 A91.
- Kochukhov, O., 2018. *BinMag: Widget for comparing stellar observed with theoretical spectra*. Astrophysics Source Code Library, ascl:1805.015.
- Kupka, F., Piskunov, N.E., Ryabchikova, T.A., Stempels, H.C., Weiss, W.W., 1999. *VALD-2: Progress of the Vienna Atomic Line Data Base*. A&AS 138, 119.
- Kupka F. and Lueftinger T., *TempLogG*. Institute for Astronomy, University of Vienna, A-1180 Vienna, Austria.
- Kurtz, D. W., 1982. *Rapidly oscillating AP stars*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 200 807-859.
- Kurucz, R. L., 1993a. *SYNTHE spectrum synthesis programs and line data*. Kurucz CD-ROM, No. 18. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1993.

- Kurucz, R.L., 1993b, *Kurucz CD-ROM*. Cambridge, MA: Smithsonian Astrophysical Observatory, December 4, 1993.
- Kurucz, R.L., 2005. *ATLAS12, SYNTHE, ATLAS9, WIDTH9*. et cetera MSAIS 8, 14.
- McClure, R. D., 1984. *The barium stars*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 96 117-127.
- Mathys, G., 1990. *AP stars with resolved Zeeman split lines*. Astronomy and Astrophysics, 232 151.
- Mathys, G., Lanz, T., 1990. *The magnetic field of the AM star omicron Pegasi*. Astronomy and Astrophysics, 230 L21-L24.
- Mathys, G., Hubrig, S., Landstreet, J. D., Lanz, T., Manfroid, J., 1997. *The mean magnetic field modulus of AP stars*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 123 353-402.
- Mathys, G., Khalack, V., Landstreet, J. D., 2020. *The 10.5 year rotation period of the strongly magnetic rapidly oscillating Ap star HD 166473*. Astronomy and Astrophysics, 636 A6.
- Michaud, G., 1970. *Diffusion Processes in Peculiar a Stars*. The Astrophysical Journal, 160 641.
- Michaud, G., Tarasick, D., Charland, Y., Pelletier, C., 1983. *Diffusion, meridional circulation, and mass loss in Fm-Am stars*. The Astrophysical Journal, 269 239-249.
- Michaud, G., Alecian, G., Richer, J., 2015. *Atomic Diffusion in Stars. Atomic Diffusion in Stars*,.
- Mihalas, D., 1978. *Stellar atmospheres*. San Francisco: W.H. Freeman,.
- Moon, T., 1985. *Stellar Luminosities and Radii from Uvby-Beta Photometry*. Astrophysics and Space Science, 117(2), 261-270.
- Morgan, W. W., 1933. *Note on a star having a peculiar spectrum*. Publications of the American Astronomical Society, 7 98.
- Morgan, W. W., Abt, H. A., Tapscott, J. W., 1978. *Revised MK Spectral Atlas for stars earlier than the sun*. Williams Bay: Yerkes Observatory.
- Munari, U., Sordo, R., Castelli, F., Zwitter, T., 2005. *An extensive library of 2500 10 500 Å synthetic spectra*. Astronomy and Astrophysics, 442(3), 1127-1134.
- Napiwotzki, R., Schoenberner, D. and Wenske, V., 1993. *On the determination of effective temperature and surface gravity of B, A, and F stars using Stromgren UBVY beta photometry*. A&A 268, 653.

- Osawa, K., 1959. *Spectral Classification of 533 B8-A2 Stars and the Mean Absolute Magnitude of a0 V Stars*. The Astrophysical Journal, 130 159.
- Palmer, D. R., Walker, E. N., Jones, D. H. P., Wallis, R. E., 1968. *The radial velocities spectral types and projected rotational velocities of 633 bright northern A stars*. Royal Greenwich Observatory Bulletins, 135 385.
- Pannekoek, A., van Albada, G. B., 1946. *A Photometric study of some stellar spectra. Part 2. Discussion of results*. Publications of the Astronomical Institute of the University of Amsterdam, 6 1-115.
- Pasinetti Fracassini, L. E., Pastori, L., Covino, S., Pozzi, A., 2001. *Catalogue of Apparent Diameters and Absolute Radii of Stars (CADARS) - Third edition - Comments and statistics*. Astronomy and Astrophysics, 367 521-524.
- Perry, B. F., 1971. *The Mean Luminosity of N-Type Technetium Stars*. Bulletin of the American Astronomical Society, 3 14.
- Perryman, M. A. C., Lindegren, L., Kovalevsky, J., Hoeg, E., Bastian, U., Bernacca, P. L., Cr  z  , M., Donati, F., Grenon, M., Grewing, M., van Leeuwen, F., van der Marel, H., Mignard, F., Murray, C. A., Le Poole, R. S., Schrijver, H., Turon, C., Arenou, F., Froeschl  , M., Petersen, C. S., 1997. *The HIPPARCOS Catalogue*. Astronomy and Astrophysics, 323 L49-L52.
- Piskunov, N. E., Kupka, F., Ryabchikova, T. A., Weiss, W. W., Jeffery, C. S., 1995. *VALD: The Vienna Atomic Line Data Base*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 112 525.
- Preston, G. W., 1970. *The Rotation of the AP Stars from the Point of View of the Rigid Rotator Model*. IAU Colloq. 4: Stellar Rotation, 254.
- Preston, G.W., 1974. *The chemically peculiar stars of the upper main sequence*. Annual review of astronomy and astrophysics, 12; 257-277.
- Przybilla, N., Butler, K., Becker, S. R., Kudritzki, R. P., Venn, K. A., 2000. *Non-LTE line formation for neutral oxygen. Model atom and first results on A-type stars*. Astronomy and Astrophysics, 359 1085-1106.
- Qin, L., Luo, A.-L., Hou, W., Li, Y.-B., Zhang, S., Wang, R., Wang, L.-L., Kong, X., Han, J.-S., 2019. *Metallic-line Stars Identified from Low-resolution Spectra of LAMOST DR5*. The Astrophysical Journal Supplement Series, 242(2), 13.
- Renson, P., Gerbaldi, M., Catalano, F. A., 1991. *General catalogue of AP and AM stars*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 89 429.
- Renson, P., Manfroid, J., 2009. *VizieR Online Data Catalog: General Catalogue of Ap and Am stars (Renson+ 2009)*. VizieR Online Data Catalog, III/260.
- Ribas, I., Jordi, C., Torra, J., Gimenez, A., 1997. *Biparametric calibrations of stellar mass, radius and surface gravity using uvby-H_{beta} photometry*. Astronomy and Astrophysics, 327 207-214.

- Roman, Nancy G.; Morgan, W. W. and Eggen-Olin J., 1948. *The Classification of the Metallic-Line Stars*. ApJ 107,107.
- Romanyuk, I. I., 2007. *Main-sequence magnetic CP stars: II. Physical parameters and chemical composition of the atmosphere*. Astrophysical Bulletin, 62(1), 62-89.
- Royer, F., Grenier, S., Baylac, M.-O., Gómez, A. E., Zorec, J., 2002. *Rotational velocities of A-type stars in the northern hemisphere. II. Measurement of $v \sin i$* . Astronomy and Astrophysics, 393 897-911.
- Royer, F., Zorec, J., Gómez, A. E., 2007. *Rotational velocities of A-type stars. III. Velocity distributions*. Astronomy and Astrophysics, 463(2), 671-682.
- Saha, M., Swe, R. K., 1925. *Influence of Radiation on Ionisation Equilibrium*. Nature, 115(2889), 377-378.
- Salaris, M., Weiss, A. 2001., *Atomic Diffusion in Stellar Interiors and Field Halo Subdwarfs Ages*. Astrophysical Ages and Times Scales, 245 367.
- Salasnich, B., Girardi, L., Weiss, A. and Chiosi, C., 2000. *VizieR Online Data Catalog: Evolution models for α -enhanced stars*. (Salasnich+ 2000) A&A 361, 1023.
- Sargent, W. L. W., Searle, L., Jugaku, J., 1962. *Recent Work on Abundances in Peculiar A Stars*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 74(440), 408.
- Sargent, W. L. W., 1964. *The Atmospheres of the Magnetic and Metallic-Line Stars*. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 2 297.
- Sbordone, L., Bonifacio, P., Castelli, F., Kurucz, R. L. 2004. *ATLAS and SYNTHE under Linux*. Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi, 5 93.
- Sbordone, L., Bonifacio, P., Castelli, F. 2007. *ATLAS 9 and ATLAS 12 under GNU-Linux*. Convection in Astrophysics, 239 71-73.
- Shore, S. N., Adelman, S. J., 1974. *Magnetic fields and diffusion processes in peculiar A stars*. The Astrophysical Journal, 191 165-172.
- Smalley, B., Antoci, V., Holdsworth, D. L., Kurtz, D. W., Murphy, S. J., De Cat, P., Anderson, D. R., Catanzaro, G., Collier Cameron, A., Hellier, C., Maxted, P. F. L., Norton, A. J., Pollacco, D., Ripepi, V., West, R. G., Wheatley, P. J., 2017. *Pulsation versus metallicity in Am stars as revealed by LAMOST and WASP*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 465(3), 2662-2670.
- Smith, K. C., 1996a; *Elemental abundances in normal late-B and HgMn stars from co-added IUE spectra. IV. Gallium*. Astronomy and Astrophysics, 305; 902.
- Smith, K. C., 1996b. *Chemically Peculiar Hot Stars*. Astrophysics and Space Science, 237(1-2), 77-105.

- Smith, G. H., Churchill, C. W., 1998. *Chromospheric CaII H and K emission among subdwarfs*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 297(2), 388-398.
- Soufi, F., Goupil, M. J., Dziembowski, W. A., 1998. *Effects of moderate rotation on stellar pulsation. I. Third order perturbation formalism*. Astronomy and Astrophysics, 334 911-924.
- Strömgren, B., 1984. *Investigations of the properties of stars of population II in our galaxy based on uvby photometry*. Publications of the Astronomical Observatory Helsinki, 6 7-19.
- Titus, J. and Morgan, W. W., 1940 *On the Classification of the a Stars. I. The Spectral Types of the Brighter Members of the Hyades Cluster*. ApJ 92, 256.
- Torres, G., 2010. *On the Use of Empirical Bolometric Corrections for Stars*. AJ140, 1158.
- van Leeuwen, F., 2007. *Validation of the new Hipparcos reduction*. Astronomy and Astrophysics, 474(2), 653-664.
- Vauclair, G., Vauclair, S., Michaud, G., 1978. *Abundance anomalies in main-sequence stars: competition between diffusion processes and turbulent motions*. The Astrophysical Journal, 223 920-936.
- Wade, G. A., Neiner, C., 2018. *Magnetism of hot stars*. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 48(1), 106-115.
- Wilson, R. E., 1953. *General catalogue of stellar radial velocities*. Carnegie Institute Washington D.C. Publication, 0.
- Wilson, O. C., 1966. *Stellar Convection Zones, Chromospheres, and Rotation*. The Astrophysical Journal, 144 695.
- Zorec, J., Royer, F., 2012. *Rotational velocities of A-type stars. IV. Evolution of rotational velocities*. Astronomy and Astrophysics, 537 A120.